



TUGAS AKHIR TF 141581

**EVALUASI *RELIABILITY ENGINE FUEL AND CONTROL* PADA PESAWAT BOEING 737-800
GARUDA INDONESIA DI PT. GMF AEROASIA
CENGKARENG**

**FURQON GILANG NUGRAHA
NRP 2414.106.029**

**Dosen Pembimbing :
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.**

**Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT TF 141581

***RELIABILITY EVALUATION ON ENGINE FUEL
AND CONTROL AIRCRAFT BOEING 737-800
GARUDA INDONESIA AT PT. GMF AEROASIA
CENGKARENG***

**FURQON GILANG NUGRAHA
NRP 2414.106.029**

***Advisor Lecturer :
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.***

***Department of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017***

LEMBAR PENGESAHAN

**EVALUASI *RELIABILITY ENGINE FUEL AND*
CONTROL PADA PESAWAT BOEING 737-800
GARUDA INDONESIA
DI PT. GMF AEROASIA CENGKARENG**

TUGAS AKHIR
Oleh :
Furqon Gilang Nugraha
NRP : 2414.106.029

Pembimbing I

Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.
NIP. 19600901 198701 1 001



Halaman ini sengaja dikosongkan

**EVALUASI *RELIABILITY ENGINE FUEL AND CONTROL* PADA PESAWAT BOEING 737-800
GARUDA INDONESIA
DI PT. GMF AEROASIA CENGKARENG**

TUGAS AKHIR

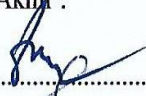
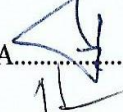
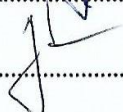
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi S-1 Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Furqon Gilang Nugraha

NRP: 2414 106 029

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc..........(Pembimbing)
2. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA..........(Ketua Penguji)
3. Ir. Ya'umar, MT..........(Penguji I)

**SURABAYA
JANUARI, 2017**

Halaman ini sengaja dikosongkan

EVALUASI *RELIABILITY ENGINE FUEL AND CONTROL* PADA PESAWAT BOEING 737-800 GARUDA INDONESIA DI PT. GMF AEROASIA CENGKARENG

NAMA : FURQONG GILANG NUGRAHA
NRP : 2414. 106. 029
DEPARTEMEN : TEKNIK FISIKA, FTI-ITS
DOSEN PEMBIMBING : Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

ABSTRAK

Sebagian besar *delay* pesawat Boeing 737-800 Garuda Indonesia yang terjadi sepanjang tahun 2012-2016 disebabkan karena adanya kegagalan fungsi pada sistem *Engine Fuel and Control*. Sistem ini memiliki fungsi sentral dalam pendistribusian dan pengontrolan bahan bakar untuk operasional mesin pesawat. Sehingga perlu dilakukan evaluasi nilai kehandalan pada sistem *Engine Fuel and Control*, evaluasi yang dilakukan berkaitan dengan frekuensi waktu kegagalan atau kerusakan komponen-komponen. Komponen-komponen pada *Engine Fuel and Control* yang dievaluasi adalah *fuel pump*, *IDG oil cooler*, *servo fuel heater*, *electronic engine control*, *hydro-mechanical unit*, *fuel flow transmitter* dan *fuel flow differential pressure switch*. Nilai kehandalan sistem secara keseluruhan pada waktu operasional 500 jam, 1000 jam dan 1500 jam adalah 0,73; 0,52 dan 0,36. Komponen kritis berdasarkan nilai keandalannya yang sudah mencapai 0,7 pada saat 1000 jam operasi adalah *fuel flow differential pressure switch*. Pada jenis perawatan yang sesuai didapatkan *scheduled restoration task* untuk komponen *fuel pump*, *IDG oil cooler*, *servo fuel heater* dan *hydro-mechanical unit*, serta *schedule on-condition task* untuk komponen *electronic engine control*, *fuel flow transmitter* dan *fuel flow differential pressure switch*. Pembiayaan komponen *FFDPS* pada nilai kehandalan 70%, 60% dan 50% diperoleh US\$ 429,27 ; US\$ 337,56 dan US\$ 283,66.

Kata Kunci : *Engine Fuel and Control*, Kehandalan, *Maintenance*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**RELIABILITY EVALUATION ON ENGINE FUEL AND
CONTROL AIRCRAFT BOEING 737-800 GARUDA
INDONESIA AT PT. GMF AEROASIA CENGKARENG**

NAME : FURQON GILANG NUGRAHA
NRP : 2414. 106. 029
DEPARTEMENT : ENGINEERING PHYSICS, FTI-ITS
SUPERVISOR : Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

ABSTRACT

Most of delay Garuda Indonesia Boeing 737-800 aircraft which occurred during the year 2012-2016 due to a malfunction of the Engine Fuel and Control system. This system has a central function in the distribution and control of fuel for aircraft engines operation. So it is necessary to evaluate the value of reliability on the Engine Fuel and Control system, evaluation relating to the time-frequency of a failure or failure function of components. Components of Engine Fuel Control which evaluated is fuel pump, IDG oil cooler, servo fuel heater, electronic engine control, hydro-mechanical unit, fuel flow transmitter and fuel flow differential pressure switch. The value reliability of overall system in the operational time 500 hours, 1000 hours and 1500 hours is 0,73 ; 0,52 and 0,36. A critical components based on the value of its reliability already reached 0,7 at time of 1000 hours operation is fuel flow differential pressure switch. The type of maintenance thats appropriate obtained schedule restoration task for components fuel pump, IDG oil cooler, servo fuel heater and hydro-mechanical unit, and than scheduled on-condition task for components electronic engine control, fuel flow transmitter and fuel flow differential pressure switch. Financing of FFDPS component in the value of reliability 70% , 60% and 50% has obtained US\$ 429,27 ; US\$ 337,56 and US\$ 283,66.

Keywords : Engine Fuel and Control, Reliability, Maintenance

This page is intentionally left blank

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, Segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah serta inayahnya dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Evaluasi *Reliability Engine Fuel And Control* Pada Pesawat BOEING 737-800 Garuda Indonesia Di PT. GMF Aero Asia Cengkareng**”.

Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan segala hidayahnya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Orang tua penulis, Bapak Jayusman dan Ibu Naningsih yang selalu memberikan do'a dan dukungan secara moril maupun materil setiap waktu.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc. selaku pembimbing penulis, yang selalu membimbing, mengarahkan, dan memberikan ilmu pengetahuan demi kelancaran pengerjaan Tugas Akhir ini dengan penuh kesabaran.
4. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS.
5. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Bidang Minat Rekayasa Instrumentasi.
6. Bapak Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc. selaku dosen wali yang selalu memberikan bimbingan dan arahan bagi penulis selama menjalankan perkuliahan.
7. Bapak Agus Prasetyo Nugroho selaku pembimbing Tugas Akhir bagian *Technical Engineering Reliability* di PT. GMF AeroAsia yang telah membantu dalam pengambilan data serta memberikan sarana dan prasarana demi kelancaran pengerjaan Tugas Akhir ini.

8. Mas Febrian, Mbak Intan, Derris, Dito, Ingrid selaku *Reliability Engineer* di PT. GMF AeroAsia yang telah membantu memberikan data *maintenance*.
9. Bapak dan Ibu dosen penguji yang telah mengikuti, memberikan masukan dan kritikan positif selama pengerjaan maupun dalam ujian Tugas Akhir.
10. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman yang bermanfaat kepada penulis selama kuliah.
11. Teman-teman angkatan 2014 Lintas Jalur genap yang telah memberikan keceriaan selama perkuliahan.
12. Gerry Izzuddin Rizqullah dan Rayyan Dennis Habibi, selaku adik-adik penulis yang selalu menjadikan semangat serta menjadikan motivasi kuliah.
13. Sekar Dirgantari Hayuningtyas yang setiap saat selalu memberikan dukungan do'a dan menjadikan motivasi penulis.

Penulis menyadari bahwa karya yang sempurna hanya ada pada Allah SWT. Oleh sebab itu, penulis sangat berterimakasih atas segala masukan, kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar laporan ini menjadi lebih baik dari sebelumnya. Demikian laporan ini penulis buat, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat selain bagi penulis sendiri, dan bagi pembaca sekalian.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Permasalahan	3
BAB II TEORI PENUNJANG	5
2.1 Mesin dan Kontrol Bahan Bakar	5
2.2 Konsep <i>Reliability</i>	7
2.3 Penilaian Keandalan	8
2.4 Fungsi <i>Reliability</i>	8
2.5 Ketersediaan (<i>Availability</i>).....	9
2.6 Keterawatan (<i>Maintainability</i>)	9
2.7 Laju Kegagalan (<i>Failure Rate</i>).....	12
2.7.1 Distribusi Normal	12

2.7.2 Distribusi Lognormal.....	14
2.7.3 Distribusi Weibull.....	15
2.7.4 Distribusi Eksponensial	18
2.8 <i>Reliability Centered Maintenance (RCM)</i>	19
2.8.1 <i>System Function and Functional Failure</i>	20
2.8.2 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	22
2.8.3 Konsekuensi Kegagalan (<i>Failure Consequences</i>)	23
2.8.4 <i>Severity Class</i>	23
2.8.5 <i>Proactive Task and Initial Interval</i>	24
2.8.6 <i>Default Action</i>	28
2.9 <i>Pembiayaan Maintenance</i>	29
2.10 <i>Pemodelan Sistem</i>	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 <i>Observasi Lapangan dan Studi Literatur</i>	33
3.2 <i>Pengambilan Data</i>	33
3.3 <i>Pengolahan dan Analisis Data</i>	34
3.3.1 <i>Metode Kuantitatif</i>	34
3.3.2 <i>Metode Kualitatif</i>	41
3.4 <i>Analisis Biaya Maintenance</i>	43
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 <i>Evaluasi Kuantitatif Engine Fuel and Control</i>	45
4.1.1 <i>Evaluasi Kuantitatif Fuel Pump</i>	45
4.1.2 <i>Evaluasi Kuantitatif IDG Oil Cooler</i>	49
4.1.3 <i>Evaluasi Kuantitatif Servo Fuel Heater</i>	51

4.1.4 Evaluasi Kuantitatif <i>Electronic Engine Control</i> (EEC)	53
4.1.5 Evaluasi Kuantitatif <i>Hydro-mechanical Unit</i> (HMU)	55
4.1.6 Evaluasi Kuantitatif <i>Fuel Flow Transmitter</i>	58
4.1.7 Evaluasi Kuantitatif <i>Fuel Flow Differential Pressure Switch</i> (FFDPS).....	60
4.2 Perhitungan Nilai Keandalan Sistem.....	63
4.3 Evaluasi Kualitatif <i>Engine Fuel and Control</i>	65
4.3.1 Evaluasi Kualitatif <i>Fuel Pump</i>	66
4.3.2 Evaluasi Kualitatif <i>IDG Oil Cooler</i>	67
4.3.3 Evaluasi Kualitatif <i>Servo Fuel Heater</i>	68
4.3.4 Evaluasi Kualitatif <i>Electronic Engine Control</i> (EEC)	69
4.3.5 Evaluasi Kualitatif <i>Hydro-mechanical Unit</i> (HMU) ..	70
4.3.6 Evaluasi Kualitatif <i>Fuel Flow Transmitter</i>	71
4.3.7 Evaluasi Kualitatif <i>Fuel Flow Differential Pressure Swicth</i> (FFDPS).....	72
4.4 Evaluasi Biaya <i>Maintenance</i>	73
BAB V PENUTUP	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN A	83
LAMPIRAN B	85
TENTANG PENULIS	971

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Blok Sistem <i>Engine Fuel and Control</i>	7
Gambar 2.2	Distribusi Normal.....	13
Gambar 2.3	Distribusi Lognormal.....	14
Gambar 2.4	Distribusi <i>Weibull</i> , a. <i>Weibull Probability Density Functon</i> , b. <i>Weibull Reliability Function</i>	16
Gambar 2.5	Distribusi Eksponensial	18
Gambar 2.6	<i>Bathtub Curve</i> (Dhillon, 2004)	24
Gambar 2.7	(a) Sistem dengan <i>Increasing Failure Rate</i> dan (b) Sistem dengan <i>Decreasing Failure Rate</i>	27
Gambar 2.8	<i>Default Actions</i>	28
Gambar 2.9	Konfigurasi Seri (Ebeling, 1997)	30
Gambar 2. 10	Konfigurasi Paralel (Ebeling, 1997)	31
Gambar 3.1	Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir	35
Gambar 3.2	<i>Simple P&ID Engine Fuel and Control</i>	35
Gambar 3.3	Pemasukan Data TTF.....	36
Gambar 3.4	Pengujian Distribusi TTF.....	37
Gambar 3.5	Ranking Tiap Distribusi.....	37
Gambar 3.6	Penunjukan hasil Distribusi	38
Gambar 3.7	<i>PFD Engine Fuel and Control</i>	39
Gambar 4.1	Keandalan <i>Fuel Pump</i> Terhadap Waktu	47
Gambar 4.2	Laju Kegagalan <i>Fuel Pump</i> Terhadap Waktu.....	47
Gambar 4.3	Penerapan PM pada <i>Fuel Pump</i>	48
Gambar 4.4	Keandalan IDG <i>Oil Cooler</i> Terhadap Waktu.....	49
Gambar 4.5	Laju Kegagalan IDG <i>Oil Cooler</i> Terhadap Waktu	50
Gambar 4.6	Penerapan PM Pada IDG <i>Oil Cooler</i>	50
Gambar 4.7	Keandalan <i>Servo Fuel Heater</i> Terhadap Waktu	51
Gambar 4. 8	Laju Kegagalan <i>Servo Fuel Heater</i> Terhadap Waktu	52
Gambar 4.9	Penerapan PM Pada <i>Servo Fuel Heater</i>	53

Gambar 4.10 Keandalan EEC Terhadap Waktu	54
Gambar 4.11 Laju Kegagalan EEC Terhadap Waktu	54
Gambar 4.12 Penerapan PM Pada EEC	55
Gambar 4.13 Keandalan HMU Terhadap Waktu.....	56
Gambar 4.14 Laju Kegagalan HMU Terhadap Waktu	56
Gambar 4.15 Penerapan PM Pada HMU	57
Gambar 4.16 Keandalan <i>Fuel Flow Transmitter</i> Terhadap Waktu	58
Gambar 4.17 Laju Kegagalan <i>Flow Transmitter</i> Terhadap Waktu	59
Gambar 4.18 Penerapan PM Pada <i>Flow Transmitter</i>	59
Gambar 4. 19 Keandalan FFDPS Terhadap Waktu	60
Gambar 4.20 Laju Kegagalan FFDPS Terhadap Waktu.....	61
Gambar 4.21 Penerapan PM Pada FFDPS.....	62
Gambar 4.22 Perbandingan Keandalan Seluruh Komponen <i>Engine Fuel and Control</i>	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Deskripsi <i>System Function and Functional Failure</i> (Moubray, 1997).....	21
Tabel 2.2 Deskripsi <i>Failure Mode and Failure Effect</i> (Moubray)	22
Tabel 3.1 Contoh Tabel FMEA Unit <i>Guard Beds Filter</i>	41
Tabel 3.2 Contoh <i>Decission Worksheet</i> Unit <i>Guard Beds Filter</i>	41
Tabel 4.1 Data <i>Maintenance Fuel Pump</i>	45
Tabel 4.2 Pengolahan Data Keandalan <i>Fuel Pump</i> di Ms. Excel.....	46
Tabel 4.3 Jenis Perawatan dan Interval Perawatan Berdasarkan Hasil Implementasi <i>Preventive Maintenance</i>	63
Tabel 4.4 FMEA <i>Fuel Pump</i>	66
Tabel 4.5 <i>Decission Worksheet</i> Untuk <i>Fuel Pump</i>	67
Tabel 4.6 FMEA IDG <i>Oil Cooler</i>	67
Tabel 4.7 <i>Decission Worksheet</i> Untuk IDG <i>Oil Cooler</i>	68
Tabel 4.8 FMEA <i>Servo Fuel Heater</i>	68
Tabel 4.9 <i>Decission Worksheet</i> Untuk <i>Servo Fuel Heater</i>	69
Tabel 4.10 FMEA <i>Electronic Engine Control (EEC)</i>	69
Tabel 4.11 <i>Decission Worksheet</i> Untuk EEC	70
Tabel 4.12 FMEA <i>Hydro-mechanical Unit (HMU)</i>	70
Tabel 4.13 <i>Decission Worksheet</i> Untuk HMU	71
Tabel 4.14 FMEA <i>Fuel Flow Transmitter</i>	72
Tabel 4.15 <i>Decission Worksheet</i> Untuk <i>Fuel Flow Transmitter</i>	72
Tabel 4.16 FMEA <i>Fuel Filter Differential Pressure Switch</i>	73
Tabel 4.17 <i>Decission Worksheet</i> Untuk FFDPS	73
Tabel 4.18 Perhitungan Biaya Tenaga Kerja	74
Tabel 4.19 Rekap Biaya Untuk Perbaikan Komponen	76
Tabel 4.20 Biaya <i>Preventive Maintenance</i>	78

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan masyarakat akan transportasi semakin bertambah, ditunjang dengan perkembangan zaman yang membuat masyarakat bersifat dinamik memiliki kesibukan masing-masing yang mengharuskan mengatur waktu supaya efektif. Persaingan harga antara moda transportasi darat maupun udara semakin ketat, terlebih lagi perbedaan harga antara keduanya semakin tipis, maka tidak jarang masyarakat lebih memilih moda transportasi udara yaitu pesawat untuk mencapai tujuan dengan waktu lebih efektif.

Sebuah maskapai penerbangan adalah sebuah organisasi yang menyediakan jasa penerbangan bagi penumpang atau barang. Mereka menyewa atau memiliki pesawat terbang untuk menyediakan jasa tersebut dan dapat membentuk kerjasama atau aliansi dengan maskapai penerbangan lainnya untuk keuntungan bersama. Garuda Indonesia adalah maskapai penerbangan nasional. Pada tahun 2008, maskapai ini telah menerima sertifikasi IATA *Operational Safety Audit* (IOSA) dari IATA, yang berarti Garuda Indonesia telah seluruhnya memenuhi standar keselamatan penerbangan internasional. Garuda Indonesia masuk dalam daftar maskapai bintang empat dari Skytrax, yang berarti memiliki kinerja dan pelayanan yang bagus. Pada tahun 2012, Garuda Indonesia bergabung dengan aliansi penerbangan SkyTeam. Saat ini Garuda memiliki lebih dari 100 pesawat baru dengan berbagai jenis, dan rata-rata usia pesawat Garuda Indonesia adalah mencapai 5,4 tahun (Data Perusahaan, April 2015).

Berdasarkan data penundaan jadwal keberangkatan (*delay*) dan *pilot report* yang diperoleh dari PT. GMF AeroAsia selaku perusahaan MRO (*Maintenance Repair Overhaul*) pesawat BOEING 737-800 Next Generation Garuda Indonesia pada tahun 2012-2016 mengalami *delay* yang terjadi pada sebagian besar disebabkan karena adanya masalah di mesin dan kontrol bahan bakar (*engine fuel and control*) pada mesin CFM 56-7.

Mesin dan kontrol bahan bakar merupakan sistem mesin bahan bakar dan sistem kontrol bahan bakar yang bertugas untuk mendistribusikan bahan bakar dari tangki penyimpanan bahan bakar, menghitung dan mengindikasikan kuantitas bahan bakar yang diperlukan untuk menggerakkan pesawat terbang. Mesin dan kontrol bahan bakar kemudian mengukur bahan bakar dan menyalurkan kedalam ruang bakar (*combuster*). Selain itu, mesin ini juga mengirimkan bahan bakar yang diperlukan untuk komponen atau sistem pesawat udara yang lain yang membutuhkan bahan bakar untuk menjalankan operasinya (Boeing 737-800 NG *Aircraft Maintenance Manual*).

Oleh karena itu, sangat dibutuhkan tindakan analisa untuk mengetahui keandalan dari sistem mesin dan kontrol bahan bakar. Evaluasi keandalan akan dilakukan secara metode kuantitatif dan kualitatif, agar diperoleh analisa pengaruh dan besar keandalan dan pemilihan metode perawatan mesin dan kontrol bahan bakar yang seharusnya dilakukan sehingga diharapkan dapat menurunkan atau menghindari *delay* yang disebabkan oleh sistem ini. Selain itu, diperlukan juga analisa konsekuensi kegagalan yang dipilih melalui metode *failure mode and effect analysis* (FMEA) dan analisa penyebab kegagalan pada sistem ini dengan metode *failure tree analysis* (FTA) untuk membuat prioritas perawatan lebih lanjut pada tiap bentuk kegagalan yang terjadi pada sistem ini sesuai dengan metode *reliability centered maintenance* (RCM).

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin agar suatu aset fisik dapat berlangsung memenuhi fungsi yang diharapkan dalam konteks operasinya atau suatu pendekatan pemeliharaan yang mengkombinasikan praktek dan strategi *maintenance* untuk memaksimalkan *life time* dan fungsi sistem dengan *minimum cost*. Metode RCM dapat menganalisa fungsi komponen, jenis kerusakan yang terjadi, serta efek yang ditimbulkan akibat kerusakan (Moubray, 2000).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, permasalahan yang diangkat dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara menentukan tingkat keandalan dengan meninjau dari segi kuantitatif dari setiap komponen pada sistem mesin dan kontrol bahan bakar pesawat BOEING 737-800 Garuda Indonesia?
2. Bagaimana cara menentukan jenis perawatan yang sesuai dari segi analisa kualitatif dengan mengaplikasikan metode *Reliability Centered Maintenance*?
3. Bagaimana cara menghitung besar biaya (*cost*) dari perancangan perawatan hasil analisa keandalan dari segi kuantitatif dan kualitatif?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui tingkat keandalan komponen pada sistem mesin dan kontrol bahan bakar pesawat BOEING 737-800 Garuda Indonesia dengan meninjau dari segi kuantitatif.
2. Memperoleh hasil rancangan metode perawatan sesuai dari segi kualitatif dengan mengaplikasikan metode *Reliability Centered Maintenance*.
3. Memperoleh hasil perkiraan biaya (*cost*) yang digunakan untuk perawatan dari komponen sistem mesin dan kontrol bahan bakar ini.

1.4 Batasan Permasalahan

Pada pengerjaan Tugas Akhir kali ini, agar lebih fokus maka akan diambil beberapa batasan masalah yaitu sebagai berikut :

1. Analisa hanya difokuskan pada sistem mesin dan kontrol bahan bakar pada pesawat BOEING 737-800 *Next Generation* spesifikasi CFM56-7 engine.

2. Evaluasi dilakukan pada subsistem, komponen atau subkomponen sistem mesin dan kontrol bahan bakar (*engine fuel and control*) yang mengalami kegagalan.
3. Keandalan komponen mesin yang masih baru maupun yang telah mengalami perawatan dianggap nilainya sempurna.
4. Faktor-faktor penyebab kegagalan pada komponen, subsistem dan sistem merupakan input dalam pembahasan keandalan kuantitatif.
5. Analisa kuantitatif menggunakan bantuan perangkat lunak (*software*) ReliaSoft Weibull ++ Version 6.
6. Keseluruhan data yang diperoleh dari PT. GMF AeroAsia dianggap telah mencukupi dan valid.
7. Analisa kualitatif berdasarkan data wawancara pada narasumber di perusahaan untuk mengetahui komponen penyusun, bentuk kegagalan, penyebab kegagalan dan akibat yang akan ditimbulkan.
8. Data yang digunakan adalah data perawatan (*failure-repair*) untuk masing-masing komponen yang dominan terhadap kejadian kegagalan dengan kurun waktu 5 tahun (2012-2016).

BAB II

TEORI PENUNJANG

Pada bab ini, berisikan tentang teori dasar dalam menyelesaikan permasalahan serta untuk mencapai tujuan akhir. Teori-teori tersebut mencakup hal-hal yang mendukung dan menjadi dasar rujukan dalam tugas akhir. Pengambilan dasar teori berasal dari *text book*, jurnal ilmiah yang dipublikasikan lewat *internet*, dan *instruction manual book* yang telah diakses.

2.1 Mesin dan Kontrol Bahan Bakar

Mesin dan kontrol bahan bakar (*engine fuel and control*) adalah mesin bahan bakar dan sistem kontrol yang bertugas untuk menghitung kuantitas bahan bakar yang diperlukan untuk menggerakkan pesawat terbang. *Engine fuel and control* kemudian mengukur bahan bakar dan menyalurkan ke dalam ruang bakar (*combuster*) serta mendistribusikan bahan bakar yang diperlukan oleh sistem mesin pesawat seperti *auxiliary power unit* (APU), *power plant*, *engine* dan lain-lain sehingga operasi mesin dapat bekerja secara efisien dan stabil. *Engine fuel and control* pada *engine* jenis CFM56-7 terdiri atas 3 subsistem, yaitu:

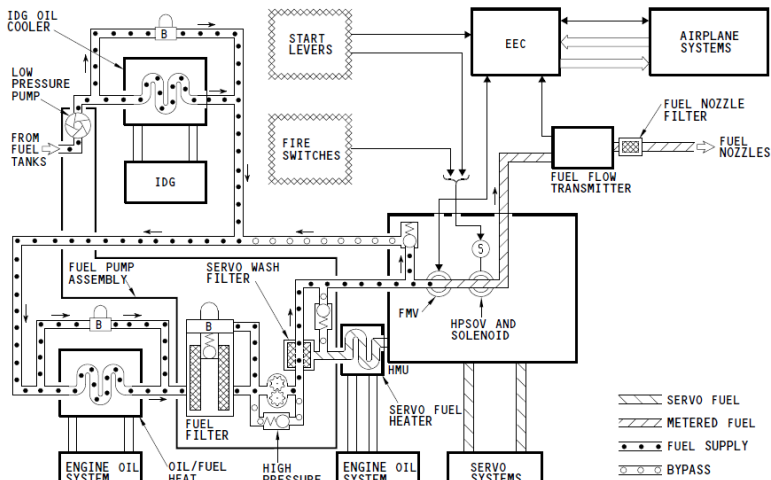
- a. Distribusi bahan bakar (*Fuel Distribution*).
- b. Pengontrolan bahan bakar (*Fuel Control*).
- c. Indikator bahan bakar (*Fuel Indicating*).

Sistem distribusi bahan bakar merupakan sistem hidromekanik yang mendistribusikan dan mengontrol aliran bahan bakar yang mengalir ke *combuster*. Sistem ini mendapat suplai bahan bakar dari sistem bahan bakar pesawat. *Fuel pump* menerima bahan bakar dari sistem bahan bakar pesawat lalu *fuel pump* menyuplai bahan bakar bertekanan ke *servo unit* dan HMU. *Fuel filter* menyaring kontaminan sebelum bahan bakar menuju HMU. Bahan bakar dari *fuel pump* menuju IDG oil cooler lalu menuju *oil/fuel heat exchanger* untuk proses memanaskan bahan bakar. Kemudian bahan bakar balik menuju *fuel pump* dan menjadi bahan bakar bertekanan tinggi, lalu bahan bakar ini menuju *servo fuel*

heater sebelum menuju HMU. Sebagian bahan bakar lain menjadi bahan bakar yang terukur di HMU, kemudian bahan bakar yang terukur menuju *fuel flow transmitter*, lalu dari *fuel flow transmitter* bahan bakar terukur menuju *fuel nozzle filter* untuk penyaringan terakhir jika terdapat kontaminan, setelah itu bahan bakar menuju *fuel nozzles* dan *fuel nozzles* menyembrotkan bahan bakar dalam bentuk partikel ke *engine combustion chamber* untuk pembakaran. Sedangkan sistem kontrol bahan bakar terdiri atas EEC serta sensor dan komponen-komponen yang disebutkan sebelumnya, yaitu:

1. *Fuel pump*, komponen yang menerima dan menyuplai bahan bakar dari sistem bahan bakar pesawat terbang untuk didistribusikan ke komponen *engine fuel and control*.
2. *Oil/fuel heat exchanger*, komponen yang berfungsi untuk memanaskan bahan bakar yang beku dari tangki bahan bakar melalui pertukaran panas dengan minyak (*oil*).
3. *Electrnonic Engine Control* (EEC), komponen yang menjadi pusat pengontrolan pada sistem ini, terintegrasi dengan banyak sistem pada pesawat untuk menerima dan mengirim informasi.
4. *Hydro-mechanical Unit* (HMU), komponen hidromekanikal yang berfungsi untuk menyuplai bahan bakar untuk operasi sistem *servo* mesin dan proses pembakaran.
5. *Fuel filter*, merupakan komponen yang membersihkan campuran bahan bakar yang menuju ke HMU.
6. *Fuel heater*, komponen yang berfungsi menjaga temperatur bahan bakar untuk mencegah bahan bakar menjadi beku sebelum memasuki HMU.
7. *Fuel manifold*, komponen yang berfungsi mendistribusikan bahan bakar yang menuju ke 20 bagian dari *fuel nozzles*.
8. *Fuel nozzles*, komponen yang berfungsi untuk menyembrotkan bahan bakar ke dalam bagian dari *combuster*.

Untuk lebih jelasnya, skema dari komponen sistem *engine fuel and control* diilustrasikan pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Diagram Blok Sistem *Engine Fuel and Control*

Sistem indikator bahan bakar (*flow indicating system*) berfungsi memonitor laju aliran bahan bakar dan total kuantitas bahan bakar yang digunakan. *Flow transmitter* mendeteksi bahan bakar yang mengalir pada *fuel plumbing*. Jika terjadi gangguan pada *fuel filter* seperti penyumbatan, sistem *fuel filter bypass warning* akan melakukan *bypass* langsung tanpa melalui *fuel filter* (Boeing 737-800 NG Aircraft Maintenance Manual).

2.2 Konsep *Reliability*

Reliability atau keandalan merupakan kemungkinan dari suatu komponen atau sistem untuk dapat beroperasi atau melaksanakan fungsinya (Ebeling, 1997). Fungsi tersebut telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian tertentu dan dalam lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan pula. Jadi, keandalan adalah kemungkinan untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu (t) atau lebih.

Keandalan komponen, subsistem atau sistem produksi merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi kesuksesan proses produksi. Evaluasi keandalan dapat membantu dalam

memperkirakan peluang sebuah sistem atau komponen untuk dapat melaksanakan fungsinya dalam jangka waktu tertentu dan dalam kondisi tertentu pula. Sistem atau komponen masih dapat beroperasi walaupun tidak dapat memenuhi fungsinya secara maksimal (Dhillon, 2005).

Evaluasi keandalan ada beberapa yang harus diperhatikan, antara lain sebagai berikut (Priyatna, 2000).

- Kegagalan dari komponen maupun sistem harus jelas dan dapat diobservasi.
- Waktu kegagalan dapat diidentifikasi.
- Pada saat kondisi normal, performansinya dapat diobservasi dengan jelas.

2.3 Penilaian Keandalan

Ada dua metode yang secara umum digunakan untuk melakukan evaluasi keandalan (Priyatna, 2000).

a. Evaluasi Kuantitatif

Evaluasi kuantitatif dapat dibedakan menjadi bagian besar yaitu evaluasi secara analisis (statistik) dan evaluasi dengan metode simulasi.

b. Evaluasi Kualitatif

Evaluasi kualitatif merupakan evaluasi *mode* dan dampak kegagalan dengan metode FMEA (*Failure Mode Effects and Analysis*) dan FTA (*Fault Tree Analysis*).

2.4 Fungsi *Reliability*

Fungsi *reliability* adalah fungsi matematik yang menyatakan hubungan *reliability* dengan waktu. Nilai fungsi *reliability* merupakan nilai probabilitas, maka nilai fungsi *reliability* (R) bernilai $0 \leq R \leq 1$ (Ebeling, 1997). Fungsi *reliability* dinotasikan sebagai $R(t)$ dari sistem jika dipakai selama t satuan waktu. Probabilitas sistem dapat berfungsi dengan baik selama pemakaian $[0, t]$. Parameter yang akan diukur di dalam pengolahan data yaitu laju kegagalan komponen. Parameter tersebut merupakan *variable*

random yang dapat didefinisikan secara kontinu. Konsep waktu dalam *reliability* adalah TTF (*time to failure*). TTF sebagai waktu yang dilalui komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan.

Perhitungan nilai keandalan secara umum, menggunakan persamaan berikut ini (Ebeling, 1997).

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

Dimana :

$F(t)$ adalah *Cumulative Distribution Function* (CDF)

$R(t)$ adalah *Reliability Function*

$f(t)$ adalah *Probability Density Function* (PDF)

2.5 Ketersediaan (*Availability*)

Availability adalah kemungkinan sebuah komponen untuk menjalankan fungsinya (dengan berbagai aspek keandalan, kemampuan perawatan, dukungan perawatan). *Availability* juga dapat diartikan sebagai ketersediaan suatu komponen dalam kurun waktu tertentu. *Availability* yang berubah terhadap waktu dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini : (Ebeling, 1997)

$$A(t) = \left[\left(\frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) + \left(\left(\frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right) \right] \quad (2.2)$$

Dimana :

λ = *failure rate* dari waktu antar kegagalan

μ = 1/MTTR

2.6 Keterawatan (*Maintainability*)

Maintainability merupakan kemampuan suatu komponen yang rusak untuk diperbaiki pada keandalan semula dalam kurun waktu tertentu, sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. *Maintainability* mempunyai rumus yang berbeda-beda pada setiap

distribusi datanya (Ebeling, 1997). Nilai *maintainability* dapat ditulis seperti persamaan berikut ini :

- *Maintainability* normal

$$M(t) = \varphi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.3)$$

Dengan :

t = waktu (*variabel*)

μ = rata-rata

σ = simpangan baku

- *Maintainability* lognormal

$$M(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(t-\mu)}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.4)$$

Dengan :

t = waktu (*variabel*)

μ = rata-rata, dan

σ = simpangan baku

- *Maintainability* weibull

- Dua parameter :

$$M(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.5)$$

- Tiga parameter :

$$M(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.6)$$

Dengan :

t = waktu (*variabel*)

β = bentuk parameter (*shape parameter*)

η = parameter skala (*scale parameter*)

γ = parameter lokasi (*location parameter*)

- *Maintainability* eksponensial

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{MTTR}\right)} \quad (2.7)$$

Dengan :

t = waktu (variabel)

$MTTR$ = *Mean Time To Repair*

Untuk persamaan waktu rata-rata perbaikan ($MTTR$) untuk beberapa distribusi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Distribusi normal :

$$MTTR = \mu \quad (2.8)$$

- Distribusi lognormal:

$$MTTR = \exp\left(\mu + \frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (2.9)$$

- Distribusi weibull:

- Dua parameter :

$$MTTR = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.10)$$

- Tiga parameter :

$$MTTR = t_0 + \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (2.11)$$

- Distribusi eksponensial :

$$MTTR = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.12)$$

Dengan :

t = waktu (variabel)

MTTR = *Mean Time To Repair*

2.7 Laju Kegagalan (*Failure Rate*)

Laju kegagalan atau biasa yang disebut dengan *Failure Rate* merupakan banyaknya terjadi kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi dalam selang waktu tertentu dengan total waktu operasi suatu komponen atau pun sistem. Laju kegagalan dapat dihitung dengan persamaan 2.13 dan 2.14 di bawah ini : (Ebeling, 1997)

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (2.13)$$

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.14)$$

Dimana:

f = banyaknya kegagalan selama jangka waktu operasi

T = total waktu operasi

$\lambda(t)$ = laju kegagalan

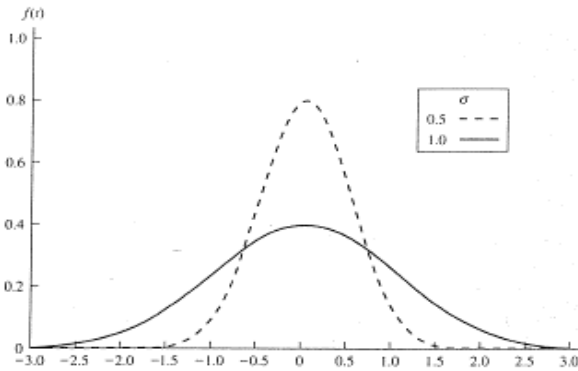
Berikut merupakan penjelasan mengenai distribusi laju kegagalan yang memiliki empat jenis distribusi.

2.7.1 Distribusi Normal

Distribusi normal atau juga disebut distribusi gaussian adalah distribusi yang paling sering digunakan untuk menjelaskan tentang penyebaran data. *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi normal adalah simetris terhadap nilai rata-rata (*mean*).

Dispersi terhadap nilai rata-rata distribusi normal diukur berdasarkan nilai standar deviasi (σ). Dengan kata lain parameter distribusi normal adalah *mean* dan standar deviasi (σ). *Probability Density Function* (PDF) dari distribusi normal dapat dinyatakan dengan persamaan 2.15 di bawah ini : (Ebeling, 1997)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2.15)$$



Gambar 2.2 Distribusi Normal

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi normal, maka :

- a. Fungsi Keandalan distribusi normal adalah :

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.16)$$

- b. Laju kegagalan distribusi normal adalah :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)} \quad (2.17)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi normal adalah :

$$\text{MTTF} = \mu \quad (2.18)$$

Dimana :

t = waktu (variabel)

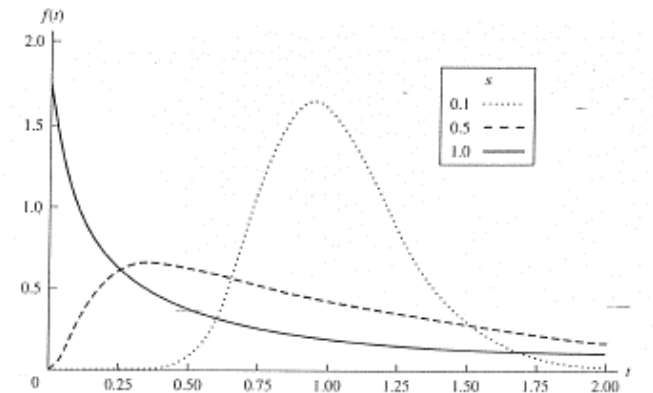
μ = rata-rata data

σ = simpangan baku

2.7.2 Distribusi Lognormal

Pada saat variabel acak T (waktu kegagalan) mempunyai distribusi lognormal, logaritma T memiliki distribusi normal. Fungsi kerapatan peluang untuk distribusi lognormal ditunjukkan pada persamaan 2.19 di bawah ini : (Ebeling, 1997)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.19)$$



Gambar 2.3 Distribusi Lognormal

Karakteristik distribusi lognormal memiliki dua parameter, diantaranya yaitu parameter lokasi (μ) dan parameter skala (σ),

sama dengan standar deviasi. Jika distribusi waktu antar kegagalan mengikuti distribusi lognormal, maka : (Ebeling, 1997)

a. Fungsi Keandalan distribusi lognormal adalah :

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] dt \quad (2.20)$$

b. Laju kegagalan distribusi lognormal adalah :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.21)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi lognormal adalah :

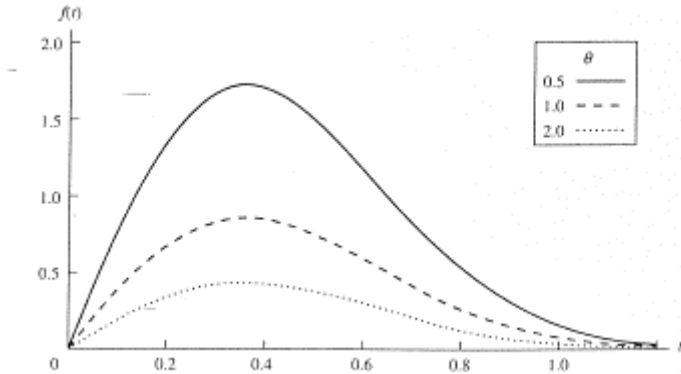
$$MTTF = \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right) \quad (2.22)$$

2.7.3 Distribusi Weibull

Selain distribusi normal, distribusi *weibull* juga paling sering digunakan dalam Keandalan. Model *bathub curve* merupakan dasar untuk melakukan perhitungan Keandalan suatu komponen atau sistem. Penambahan parameter di dalam distribusi *weibull* dapat mempresentasikan banyaknya *probability density function* (PDF), sehingga distribusi ini dapat digunakan untuk variasi data yang luas. Berikut merupakan fungsi dari parameter distribusi *weibull* :

- η , sebagai parameter skala (*scale parameter*), $\eta > 0$, disebut sebagai *characteristic life*
- β , sebagai parameter bentuk (*shape parameter*), $\beta > 0$, mendeskripsikan bentuk dari PDF (*Probability Density Function PDF*).
- γ , sebagai parameter lokasi (*locations parameter*), yaitu merepresentasikan *failure-free* atau awal periode dari

penggunaan alat. Jika $\gamma=0$ maka distribusi akan berubah menjadi dua parameter.



Gambar 2.4 Distribusi Weibull, a. Weibull Probability Density Functon, b. Weibull Reliability Function

Karakteristik distribusi *weibull* memiliki beberapa parameter pada distribusinya, yaitu dua parameter (η, β) dan tiga parameter (η, β, γ) : (Ebeling, 1997)

- Distribusi dua parameter

PDF dari distribusi weibull yaitu :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (2.23)$$

- a. Laju kegagalan distribusi *weibull* adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2.24)$$

b. Fungsi Keandalan distribusi *weibull* adalah :

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right\} \quad (2.25)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull* adalah :

$$\text{MTTF} = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.26)$$

• Distribusi tiga parameter

PDF dari distribusi *weibull* yaitu :

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \right] \exp \left[- \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.27)$$

a. Laju kegagalan distribusi *weibull* adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left[\frac{t - t_0}{\eta} \right]^{\beta-1} \quad (2.28)$$

b. Fungsi Keandalan distribusi *weibull* adalah :

$$R(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^\beta \right\} \quad (2.29)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi *weibull* adalah :

$$\text{MTTF} = t_0 + \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (2.30)$$

Dengan :

t = waktu (variabel)

β = bentuk parameter (*shape parameter*)

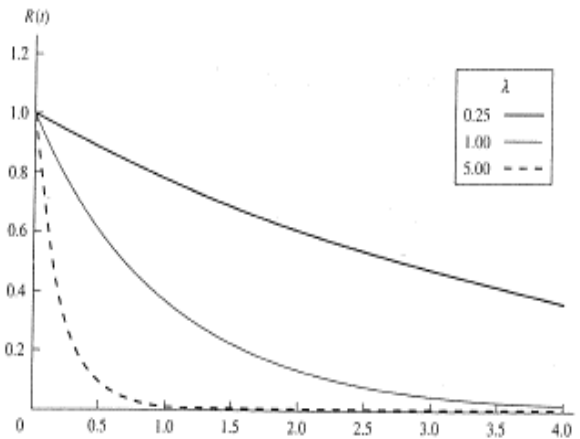
η = parameter skala (*scale parameter*)

γ = parameter lokasi (*location parameter*)

2.7.4 Distribusi Eksponensial

Probability Density Function (PDF) distribusi eksponensial ditunjukkan pada persamaan 2.31 berikut : (Ebeling, 1997)

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)}, t > 0, \lambda > 0, t \geq \gamma \quad (2.31)$$



Gambar 2.5 Distribusi Eksponensial

Jika distribusi waktu antar kegagalan suatu sistem mengikuti distribusi eksponensial, maka : (Ebeling, 1997)

a. Fungsi Keandalan distribusi eksponensial adalah :

$$R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)} \quad (2.32)$$

b. Laju kegagalan distribusi *eksponensial* adalah :

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.33)$$

c. Waktu rata-rata kegagalan distribusi eksponensial adalah :

$$MTTF = \gamma + \frac{1}{\lambda} \quad (2.34)$$

Dengan :

t = waktu (variabel)

MTTR = *Mean Time To Repair*

2.8 *Reliability Centered Maintenance (RCM)*

Reliability Centered Maintenance (RCM) merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menentukan langkah apa yang harus dilakukan untuk menjamin suatu aset fisik. Harapannya agar aset tersebut dapat berjalan dengan baik dan terus memenuhi fungsi yang diharapkan oleh penggunanya. Metode RCM digunakan untuk menganalisa fungsi komponen, jenis kerusakan yang terjadi, efek yang ditimbulkan akibat kerusakan, serta tindakan yang harus diberikan untuk mengantisipasi jenis kerusakan pada komponen kritis yang terdapat dalam suatu sistem.

Pada dasarnya penelitian RCM merupakan usaha untuk menjawab tujuh pertanyaan utama yang berkaitan dengan *asset* atau peralatan yang sedang diteliti. Ketujuh pertanyaan utama tersebut antara lain adalah : (Moubray, 1997)

- a. Apakah fungsi dan hubungan performansi standar dari *asset* dalam konteks operasional pada saat ini (*system functions*)?
- b. Bagaimana *asset* tersebut rusak dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?
- c. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi *asset* tersebut (*failure modes*)?
- d. Apa yang terjadi pada saat terjadi kerusakan (*failure effect*)?
- e. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut dapat terjadi (*failure consequences*)?
- f. Apa yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah masing-masing kerusakan tersebut (*proactive task and task interval*)?
- g. Apa yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak ditemukan (*default action*)?

Terdapat pula tahapan penyusunan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), yaitu antara lain sebagai berikut :

- a. Fungsi sistem dalam konteks operasional (*system function*).
- b. Kegagalan aset dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*).
- c. Penyebab terjadinya kegagalan fungsi (*failure modes*).
- d. Efek yang ditimbulkan apabila aset mengalami kegagalan (*failure effect*).
- e. Konsekuensi apabila kegagalan aset terjadi (*failure consequences*).
- f. Kegiatan yang dilakukan untuk memprediksi atau mencegah kegagalan (*proactive task and initial interval*). Kegiatan yang dilakukan apabila langkah *proactive* yang sesuai tidak ditemukan (*default action*).

2.8.1 System Function and Functional Failure

Pada metode RCM langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mendefinisikan fungsi dari setiap unit ataupun komponen yang beroperasi pada sistem tersebut (*system function*), terkait dengan standar kinerja yang diinginkan. Ekspektasi perusahaan terhadap fungsi yang dapat dilakukan oleh komponen dapat dibagi ke dalam dua kategori, yaitu (Moubray, 1997):

- a. Fungsi primer, merupakan penjelasan tentang alasan mengapa komponen tersebut sangat penting. Kategori ini mencakup hal-hal utama seperti kecepatan, *output* dari komponen, akurasi, kapasitas pembawaan, kapasitas penyimpanan dan kualitas produk.
- b. Fungsi sekunder, merupakan penjelasan tambahan dimana setiap komponen diharapkan dapat melakukan lebih dari fungsi utamanya. Kategori ini hal-hal seperti keamanan, kenyamanan, aspek ekonomi, pemenuhan standar regulasi lingkungan, efisiensi dan tampilan dari aset itu sendiri.

Selanjutnya, *functional failure* bertujuan untuk menjelaskan bagaimana sistem tersebut dapat mengalami kegagalan dalam melaksanakan *system function*. Dalam metode RCM, keadaan

gagal diartikan sebagai kegagalan dari komponen dalam melakukan fungsinya. Hal tersebut berarti komponen tidak mampu memenuhi fungsi dari standar kinerja yang telah ditentukan perusahaan. Selain ketidakmampuan dalam menjalankan fungsinya, fungsi kegagalan juga meliputi kegagalan parsial, dimana komponen tetap berfungsi tetapi bukan pada performansi yang baik (*bad performance*) dan tingkat akurasi lebih rendah. Fungsi kegagalan ini hanya akan dapat diidentifikasi setelah fungsi dan standar kinerja dari komponen sudah ditetapkan. Deskripsi *system function* dan *functional failure* dicontohkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Deskripsi *System Function and Functional Failure*
(Moubray, 1997)

<i>System Function</i>		<i>Functional Failure</i>	
1	Untuk menyalurkan semua gas buang panas turbin tanpa pembatasan <i>fixed point</i> 10 meter di atas atap ruangan turbin.	A	Sama sekali tidak dapat menyalurkan gas.
		B	Aliran gas terbatas
		C	Gagal menampung gas
		D	Gagal mengalirkan gas sampai ke titik 10 meter di atas atap.
2	Untuk memastikan temperatur saluran permukaan di dalam ruang turbin tidak meningkat melebihi 60° C	A	Temperatur saluran permukaan melebihi 60° C
3	Untuk mengurangi tingkat kebisingan gas buang (<i>exhaust noise level</i>) berdasarkan ISO <i>noise rating</i> 30 pada ketinggian 150 meter	A	Tingkat kebisingan melebihi ISO <i>noise rating</i> 30 pada ketinggian 150 meter

2.8.2 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan suatu teknik manajemen kegagalan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan suatu aset yang tidak mampu melaksanakan fungsinya sesuai dengan yang diharapkan oleh pengguna. *Failure mode* bertujuan untuk menentukan akar permasalahan dari kegagalan yang terjadi, sedangkan *failure effect* menjelaskan dampak yang diakibatkan apabila *failure mode* telah terjadi. Proses identifikasi terhadap fungsi, *failure mode*, dan *failure effect* sangat penting untuk dilakukan karena dapat menentukan perbaikan performansi suatu aset. Efek kegagalan tingkat lokal akan menyebabkan komponen tidak memenuhi fungsinya dengan baik. Deskripsi *failure mode* dan *failure effect* dicontohkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Deskripsi *Failure Mode and Failure Effect* (Moubray)

<i>Failure Mode</i>		<i>Failure Effect</i>
1	<i>Gear teeth stripped</i>	Motor tidak berhenti tetapi mesin berhenti. Dibutuhkan waktu 3 jam (<i>downtime</i>) untuk mengganti <i>gearbox</i> yang macet dengan cadangan. Persiapan penggantian <i>gear</i> yang baru dilakukan di <i>workshop</i> .
2	Kemacetan pada <i>gearbox bearing</i>	Motor berhenti dan <i>alarm</i> berbunyi di <i>control room</i> . Dibutuhkan waktu 3 jam (<i>downtime</i>) untuk mengganti <i>gearbox</i> yang macet dengan cadangan. Persiapan penggantian <i>bearing</i> yang baru dilakukan di <i>workshop</i> .
3	<i>Gearbox</i> macet karena kekurangan oli	Motor berhenti dan <i>alarm</i> berbunyi di <i>control room</i> . Dibutuhkan waktu 3 jam (<i>downtime</i>) untuk mengganti <i>gearbox</i> yang macet dengan cadangan. <i>Gearbox</i> yang macet akan dibuang.

2.8.3 Konsekuensi Kegagalan (*Failure Consequences*)

Dalam *Reliability Centered Maintenance* (RCM), konsekuensi kegagalan (*failure consequences*) diklasifikasikan menjadi empat bagian, yaitu : (Moubray, 1997)

a. *Hidden Failure Consequences*

Hidden failure consequences merupakan kegagalan yang tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung.

b. *Safety and Environment Consequences*

Safety consequences terjadi apabila sebuah kegagalan fungsi mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja/manusia lainnya. *Environment consequences* terjadi apabila kegagalan fungsi berdampak pada kelestarian lingkungan.

c. *Operational Consequences*

Suatu kegagalan dikatakan memiliki konsekuensi operasional ketika berakibat pada produksi atau operasional (keluaran, kualitas produk, pelayanan terhadap konsumen atau biaya operasional untuk perbaikan komponen).

d. *Non Operational Consequences*

Bukti kegagalan pada kategori ini adalah yang bukan tergolong dalam konsekuensi keselamatan ataupun produksi, jadi kegagalan ini hanya melibatkan biaya perbaikan komponen.

2.8.4 *Severity Class*

Setiap kegagalan yang terjadi dapat dikategorikan ke dalam salah satu dari keempat *severity class* yaitu :

a. *Critical Failure*

Kegagalan yang menyebabkan kerugian secara langsung dan menyeluruh terhadap kapabilitas alat dalam menghasilkan output.

b. *Degraded Failure*

Kegagalan yang tidak bersifat kritis, namun dapat menghambat kinerja alat dalam menghasilkan output di beberapa kondisi. Tipe kegagalan ini biasanya terjadi secara bertahap dan lambat laun dapat meningkat menjadi *critical failure*.

c. *Incipient Failure*

Jenis kegagalan ini secara tidak langsung mempengaruhi kinerja alat dalam menghasilkan output. Namun, jika hal ini dibiarkan secara terus-menerus dapat menyebabkan *degraded failure* atau bahkan *critical failure* di masa mendatang.

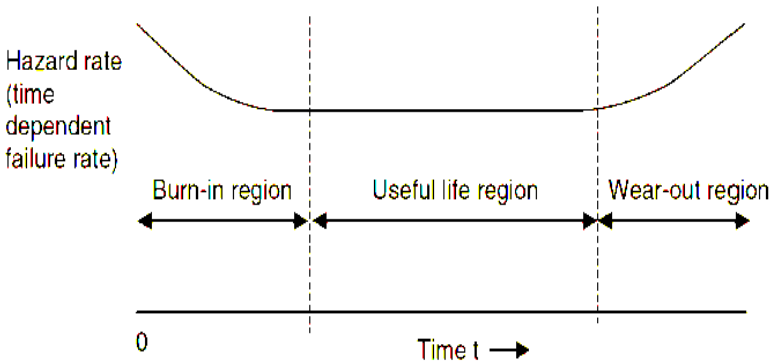
d. *Unknown*

Pada tipe kegagalan ini, tidak ada rekaman tingkat keparahan atau dengan kata lain kegagalan tidak dapat terdeteksi.

2.8.5 *Proactive Task and Initial Interval*

Proactive Task and Initial Interval dilakukan sebelum terjadi kegagalan untuk menghindarkan sistem atau komponen dari kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan. Kegiatan ini biasa dikenal dengan pemeliharaan (*maintenance*).

Bathtub curve, seperti pada Gambar 2.6, adalah salah satu konsep yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan bentuk *maintenance* yang sesuai untuk suatu sistem atau komponen berdasarkan jenis laju kegagalannya yang berubah terhadap waktu. Pada *bathtub curve*, suatu komponen dapat dijelaskan menurut tiga fase utama, yaitu fase *burn-in*, *useful life*, serta *wear-out* (Dhillon).



Gambar 2.6 *Bathtub Curve* (Dhillon, 2004)

Selama fase *burn-in* (yang dikatakan sebagai fase awal dari suatu komponen yang baru diproduksi), laju kegagalan suatu komponen akan menurun, atau disebut *Decreasing Failure Rate* (DFR). Beberapa kegagalan yang terjadi di dalam fase ini antara lain adalah ketidaksempurnaan proses manufaktur, kontrol kualitas yang kurang maksimal, cara *packaging* yang kurang tepat, atau kekurangan proses lainnya. Fase *burn-in* dikenal juga dengan sebutan *debugging region*, *infant mortality region*, atau *break-in region*. Kemudian, selama fase *useful life*, laju kegagalan komponen adalah konstan, atau disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Kegagalan yang terjadi pun tidak terprediksi atau acak. Kegagalan yang mungkin di antaranya cacat komponen yang tidak terdeteksi, penyalahgunaan komponen, faktor keamanan yang rendah, *human errors*, maupun kondisi lingkungan tertentu yang sulit dihindari. Pada akhirnya, di fase *wear-out*, laju kegagalan komponen meningkat atau *Increasing Failure Rate* (IFR). Kegagalan yang terjadi di antaranya pemeliharaan yang buruk, terjadinya korosi, maupun *overhaul* yang tidak tepat.

Secara umum, jenis-jenis *maintenance* dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a. *Reactive Maintenance*

Tindakan yang dilakukan dalam jenis *maintenance* ini adalah membiarkan proses tetap berjalan pada suatu peralatan tertentu sampai peralatan tersebut mengalami kerusakan fungsi. Tidak ada aksi atau tindakan yang diambil untuk mengembalikan peralatan tersebut kedalam *design life*-nya.

b. *Proactive Maintenance*

Tindakan proaktif untuk mencegah terjadinya kegagalan, tindakan ini dibagi menjadi dua. Pertama, *predictive maintenance*, merupakan tindakan proaktif yang dilakukan guna melakukan pencegahan terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan, namun kegiatannya tidak terjadwal secara teratur. Kedua, *preventive maintenance*, merupakan tindakan proaktif atau upaya pemeliharaan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan.

Predictive maintenance mencegah kegagalan peralatan sebelum terjadi kerusakan total. Dalam RCM, *predictive maintenance* dikategorikan ke dalam aktivitas *scheduled on-condition task*, yaitu kegiatan dalam mengecek potensi kegagalan sehingga kegagalan tersebut dapat dicegah untuk menghindari pada konsekuensi dari terjadinya kegagalan fungsi. *Scheduled on-condition task* tersebut diimplementasikan pada komponen dengan laju kegagalan konstan, yang artinya berada pada fase *useful life* berdasarkan *bathtub curve*.

Preventive maintenance diimplementasikan pada peralatan yang mengalami fase *wear-out*, yaitu komponen yang laju kegagalannya semakin meningkat atau *Increasing Failure Rate* (IFR). Tujuannya adalah untuk menjaga komponen agar tetap menjalankan fungsinya dengan baik, bahkan dapat membantu komponen tersebut kembali pada fase *usefull life*-nya. Dalam RCM, *preventive maintenance* dikategorikan ke dalam *scheduled restoration task* ataupun *scheduled discard task*. *Scheduled restoration task* meliputi jadwal kegiatan secara periodik untuk mengganti komponen yang sudah ada sehingga komponen dapat kembali melakukan fungsi kerjanya secara maksimal dan lebih akurat sebelum mengalami kegagalan fungsi (dalam pelaksanaannya, mesin harus dihentikan). Sementara itu, *scheduled discard task* merupakan kegiatan penggantian komponen dengan komponen yang baru pada interval waktu tertentu tanpa memperhatikan kondisi komponen pada saat itu.

Secara matematis, *preventive maintenance* dirumuskan menurut Persamaan 2.35 sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$R_m(t) = R(T)^n R(t - nT) \dots \dots \dots (2.35)$$

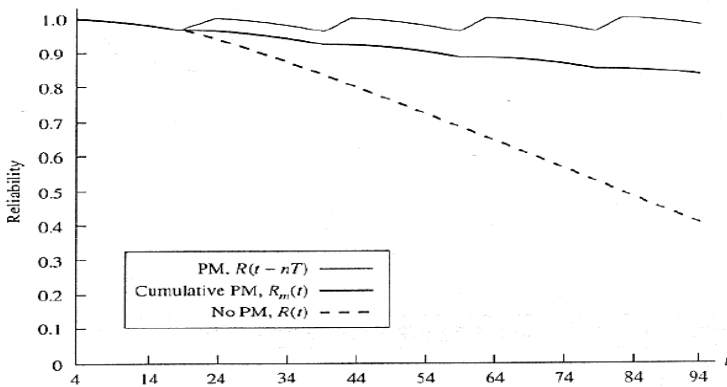
untuk,
 $nT \leq t < (n+1)T$, dengan $n = 0, 1, 2, \dots$

dimana,

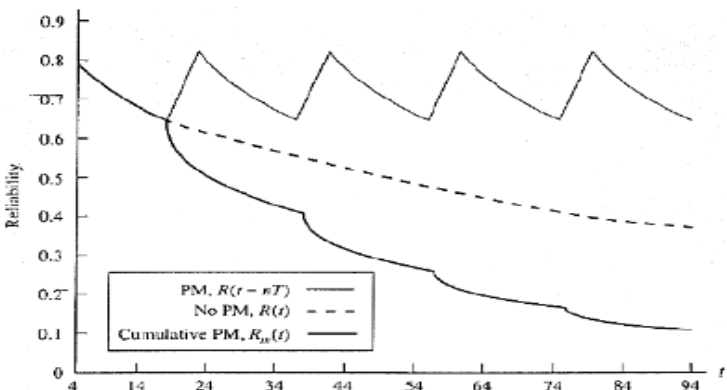
$R_m(t)$: keandalan sistem setelah kegiatan *cumulative preventive maintenance* diimplementasikan

$R(T)^n$: probabilitas ketahanan sampai dengan *preventive maintenance* ke- n
 $R(t-nT)$: *preventive maintenance*, probabilitas ketahanan selama jangka waktu $t-nT$ yang telah ditentukan sebelumnya pada kondisi awal

Implementasi *preventive maintenance* diilustrasikan berdasarkan Gambar 2.7 di bawah ini:



(a)

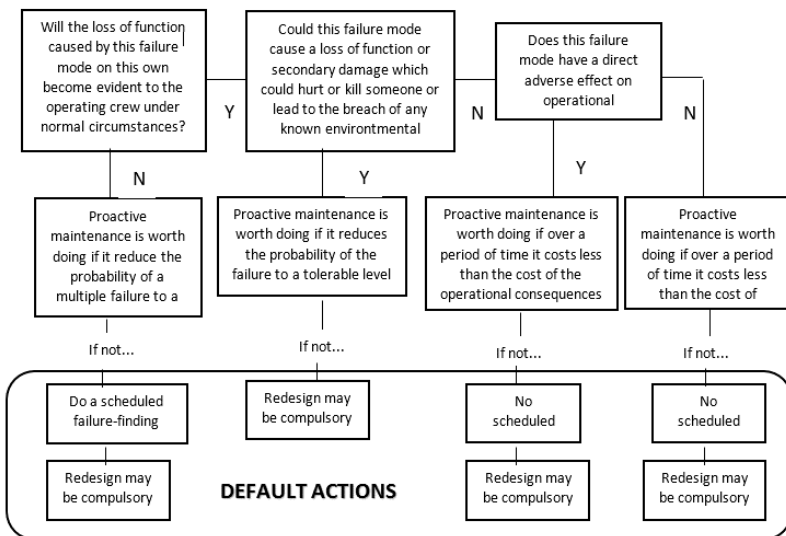


(b)

Gambar 2.7 (a) Sistem dengan *Increasing Failure Rate* dan
 (b) Sistem dengan *Decreasing Failure Rate*

2.8.6 *Default Action*

Default action adalah suatu tindakan yang dilakukan jika kondisi sudah berada dalam *failed scale*, dan dipilih ketika tindakan *proactive task* yang efektif tidak mungkin dapat dilakukan. Diagram *default action* ditunjukkan pada gambar berikut : (Moubray, 1997)



Gambar 2.8 *Default Actions*

Default action meliputi :

a. *Schedulled Failure Finding*

Schedulled failure finding merupakan kegiatan pengecekan secara periodik terhadap fungsi-fungsi yang tersembunyi untuk mengetahui apakah item tersebut telah mengalami kegagalan fungsi.

b. *Re-design*

Re-design merupakan kegiatan membuat suatu perubahan (modifikasi terhadap perangkat keras dan juga perubahan

prosedur) untuk mengembalikan kondisi suatu alat kembali seperti semula.

c. *Run to Failure*

Run to failure merupakan kegiatan membiarkan suatu alat beroperasi sampai terjadi kegagalan. Hal ini dilakukan karena berdasarkan pertimbangan finansial tindakan pencegahan yang dilakukan dinilai tidak menguntungkan.

2.9 Pembiayaan *Maintenance*

Pembiayaan *maintenance* digunakan untuk mengetahui berapa banyak *cost* yang dikeluarkan perusahaan pada saat komponen mengalami kegagalan. *Preventive cost* (biaya perawatan) merupakan biaya yang timbul karena adanya perawatan mesin yang memang sudah dijadwalkan. Sedangkan *failure cost* (biaya kerusakan) merupakan biaya yang timbul karena terjadi kerusakan di luar perkiraan yang menyebabkan mesin produksi terhenti waktu produksi sedang berjalan. Untuk menghitung total biaya saat perbaikan dan *preventive* rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. Persamaan perhitungan pembiayaan pada perbaikan (Sudarta).

$$C_R = CC + ((C_w + C_o) \times MTTR) \quad (2.36)$$

Dimana:

C_R = biaya perbaikan

C_C = biaya komponen

C_W = biaya tenaga kerja

C_O = biaya konsekuensi operasional (*loss product*)

b. Persamaan perhitungan pembiayaan pada *preventive maintenance* menggunakan persamaan berikut (Jardine, 2006).

$$C_{PM} = \frac{[(C_M \times R(t)) + (C_R \times (1 - R(t)))]}{[(t_P \times R(t)) + (t_f \times (1 - R(t)))]} \quad (2.37)$$

Dimana:

C_M = biaya maintenance

t_p = waktu preventive

t_f = waktu kegagalan

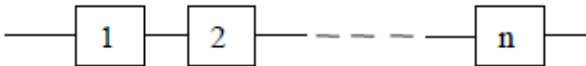
$R(t)$ = kehandalan pada saat *preventive maintenance*

2.10 Pemodelan Sistem

Pada saat mencari nilai kehandalan secara keseluruhan didalam suatu sistem maka perlu mengetahui jenis konfigurasi sistem tersebut. Setiap sistem mempunyai komponen yang membentuk konfigurasi dalam menjalankan fungsinya. Berikut ini adalah jenis-jenis konfigurasi sistem.

a. Konfigurasi Seri

Pada sistem dengan susunan komponen seri, komponen secara keseluruhan harus berfungsi agar sistem dapat berjalan. Hubungan seri dari suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu diagram blok seperti Gambar 2.9 berikut ini.



Gambar 2.9 Konfigurasi Seri (Ebeling, 1997)

Jika, E_1 =kejadian komponen 1 tidak gagal

E_2 =kejadian komponen 2 tidak gagal

Jika $P(E_1) = R_1$ dan $P(E_2) = R_2$

Dimana,

R_1 adalah *reliability* komponen 1

R_2 adalah *reliability* komponen 2

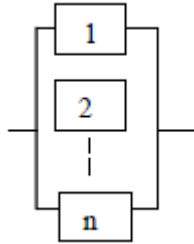
Sehingga persamaan pada perhitungan konfigurasi seri ditunjukkan dengan persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$R_S = P(E_1 \cap E_2) = P(E_1)P(E_2) = R_1(R_2) \quad (2.38)$$

b. Konfigurasi Paralel

Dua atau lebih komponen dalam susunan paralel atau *redundant*, jika semua komponen gagal maka sistem tidak akan berjalan. Namun, apabila salah satu komponen terjadi kegagalan dan komponen yang lain masih menjalankan fungsinya dengan baik, maka sistem masih dapat berjalan.

Hubungan paralel dari suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu diagram blok seperti Gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2. 10 Konfigurasi Paralel (Ebeling, 1997)

Reliability untuk sistem paralel dan komponen bebas didapatkan dengan mengurangkan 1 dengan probabilitas semua n komponen. Jika terdapat 2 komponen menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} R_P &= P(E_1 \cup E_2) = 1 - P(E_1 \cup E_2)^c = 1 - P(E_1^c)P(E_2^c) \\ &= 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \end{aligned} \quad (2.39)$$

Secara umum *reliability* sistem paralel ditunjukkan pada persamaan berikut (Ebeling, 1997).

$$R_P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad (2.40)$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Tugas akhir ini secara sistematis dilakukan dengan beberapa tahapan dan digambarkan pada *flowchart* di halaman berikutnya.

3.1 Observasi Lapangan dan Studi Literatur

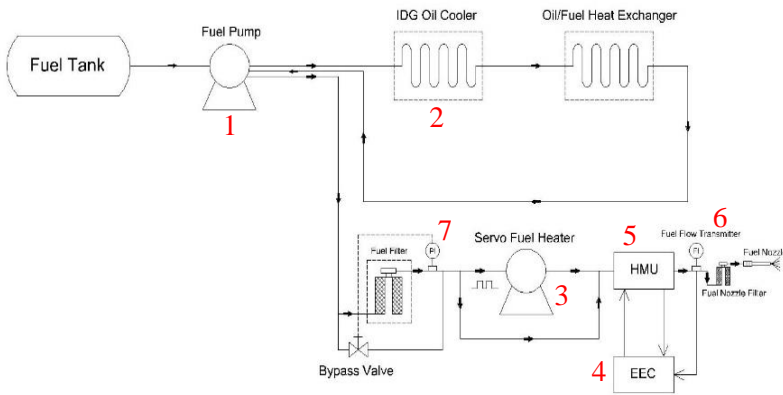
Observasi lapangan merupakan pengamatan secara langsung di lokasi. Objek dalam penelitian tugas akhir ini yaitu *Engine Fuel and Control* Pesawat Boeing 737-800 di PT. GMF Aero Asia Cengkareng. Studi literatur berupa pemahaman secara teoritis tentang studi proses dan identifikasi komponen-komponen *Engine Fuel and Control*. Komponen-komponen utama yang dianalisis keandalannya yaitu *fuel pump*, *IDG oil cooler*, *servo fuel heater*, *electronic engine control*, *hydro-mechanical unit*, *fuel flow transmitter* dan *fuel flow differential pressure switch*.

3.2 Pengambilan Data

Pada pengambilan data tugas akhir ini, data yang perlukan adalah data *maintenance Engine Fuel and Control*. Data *maintenance* merupakan data *historical* kegagalan dan perbaikan pada komponen-komponen yang sering mengalami kerusakan. Pada evaluasi segi kualitatif, data yang diperlukan adalah informasi sistem *maintenance* oleh karyawan yang menangani langsung kerusakan yang terjadi pada *Engine Fuel and Control*.

3.3 Identifikasi Sistem dan Komponen

Setelah data lengkap, tahap selanjutnya adalah identifikasi masing-masing komponen yang menyusun sistem *Engine Fuel and Control*. Tahap identifikasi komponen penyusun ini menjadi tahap analisis pertama, dimana tahap ini bertujuan untuk mengetahui fungsi dan prinsip kerja masing-masing komponen pada sistem, serta bagaimana komponen tersebut saling berkaitan dan membentuk suatu proses utuh pada sistem. Dalam hal ini P&ID dalam bentuk utuh terdapat pada Lampiran A.



Gambar 3.1 Simple P&ID Engine Fuel and Control CFM 56-7

Beberapa komponen yang dinyatakan sebagai komponen keritis dalam susunan sistem *Engine Fuel and Control* antara lain:

- *Fuel Pump*
- *IDG Oil Cooler*
- *Servo Fuel Heater*
- *Electronic Engine Control*
- *Hydro-mechanical Unit*
- *Fuel Flow Transmitter*
- *Fuel Flow Differential Pressure Switch*

3.4 Pengolahan dan Analisis Data

Data yang diperoleh kemudian diolah dengan metode kuantitatif metode kualitatif. Berikut merupakan penjelasan mengenai kedua metode tersebut:

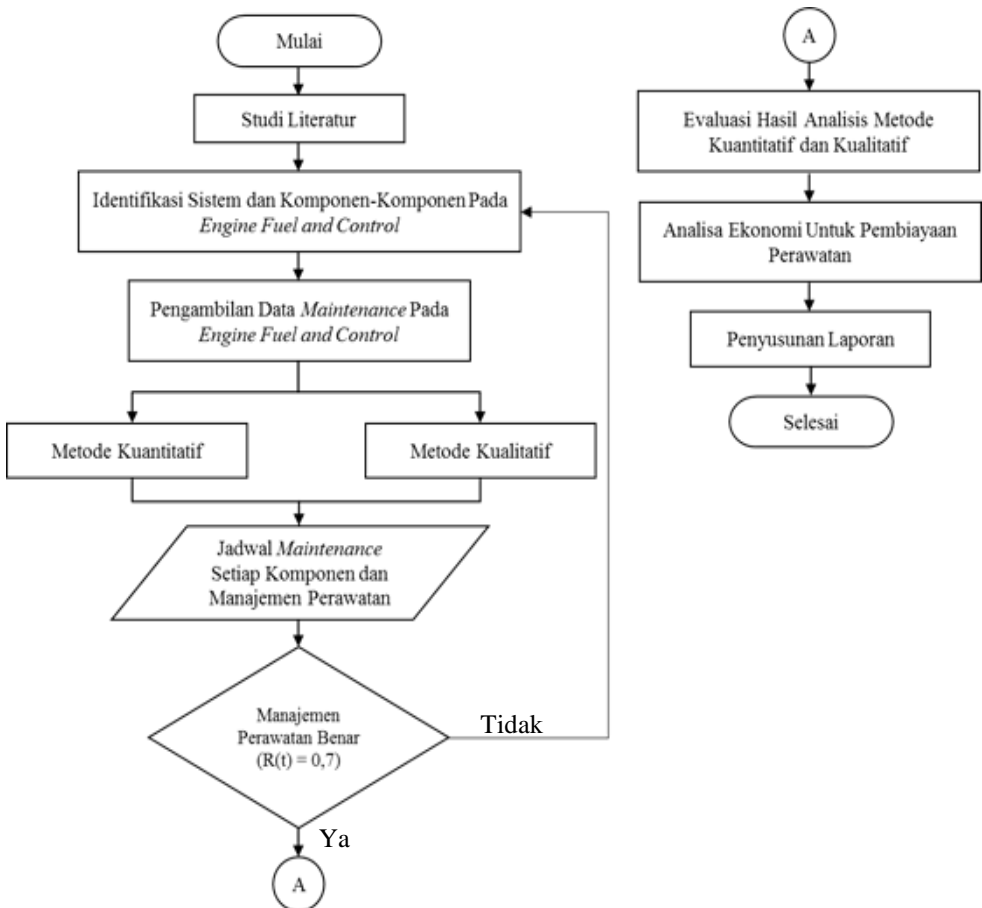
3.4.1 Metode Kuantitatif

Tahapan metode kuantitatif, akan dilakukan evaluasi nilai *reliability*, *availability*, *maintainability* dan *preventive maintenance*. Adapun pengolahan data-data dengan metode kuantitatif adalah sebagai berikut:

a. Penentuan Nilai TTF (*Time To Failure*)

Penentuan nilai TTF ini didapatkan dari data *maintenance* pada komponen-komponen *Engine Fuel and Control* Pesawat Boeing 737-800 dengan rentang waktu dari bulan januari tahun 2012 sampai dengan bulan agustus tahun 2016.

Sebelum melanjutkan ke tahap selanjutnya, berikut disajikan *flowchart* pengerjaan Tugas Akhir pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

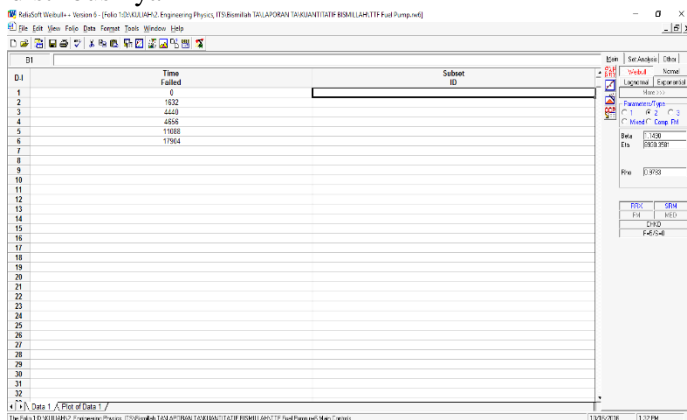
b. Penentuan Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*)

Penentuan nilai MTTF ini didapatkan dari penjumlahan nilai TTF dibagi dengan banyaknya *maintenance* yang dilakukan dari dari bulan januari tahun 2012 sampai dengan bulan agustus tahun 2016.

c. Penentuan Distribusi TTF (*Time To Failure*)

Penentuan distribusi waktu antar kegagalan bertujuan untuk mendapatkan harga kemungkinan terjadinya kerusakan pada waktu tertentu. Penentuan distribusi *time to failure* dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software ReliaSoft Weibull++ Version 6*. Keunggulan dari *software* ini adalah dapat menentukan berbagai jenis distribusi data baik itu data distribusi *eksponensial*, distribusi *weibull* 1-3 parameter, distribusi *normal*, dan distribusi *lognormal*. Berikut ini langkah-langkah penentuan distribusi waktu antar kegagalan:

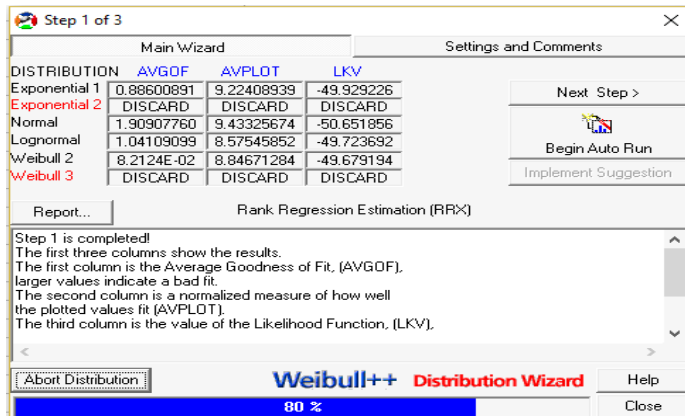
- Memasukkan data antar kegaglan yang akan dicari distribusinya



Gambar 3.3 Pemasukan Data TTF

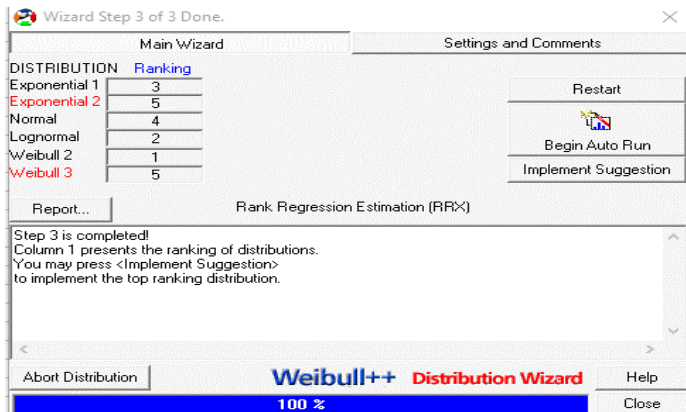
- Mulai dilakukan uji distribusi dengan memilih *option distribution wizard* untuk mendapatkan parameter uji *average goodness of fit* (AVGOF) dimana semakin besar nilai pada kolom ini mengindikasikan ketidaksesuaian

hasil uji distribusi, parameter uji *average of plot fit* (AVPLOT) yang menunjukkan ukuran yang digunakan untuk mengplot nilai hasil uji distribusi dan parameter uji *likelihood function* (LKV), nilai yang paling kecil merupakan nilai terbaik untuk hasil uji distribusi.



Gambar 3.4 Pengujian Distribusi TTF

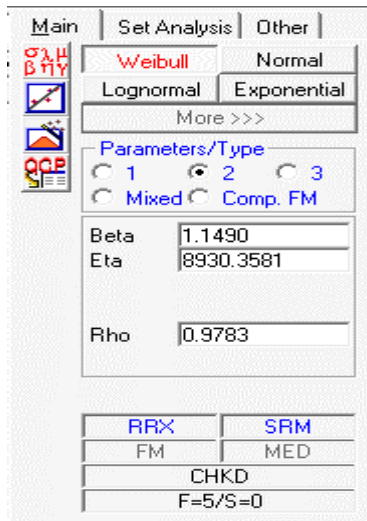
- Ranking hasil uji distribusi terbaik dapat dilihat pada *option Begin Auto Run*.



Gambar 3.5 Ranking Tiap Distribusi

Pada setiap distribusi, menunjukkan hasil ranking. Ranking pada urutan terkecil menunjukkan hasil distribusi terbaik.

- Pada langkah terakhir terdapat implementasi *suggestion* yang menunjukkan distribusi serta parameter distribusi dari data yang diuji. Penentuan parameter-parameter disesuaikan dengan hasil distribusi terbaik sebelumnya. Pengujian distribusi yang dapat meliputi distribusi *normal*, *lognormal*, *eksponensial* 1 parameter, *eksponensial* 2 parameter, *weibull* 2 parameter, dan *weibull* 3 parameter. Hasil pengujian tersebut didapatkan parameter-parameter kegagalan dari distribusi tersebut.



Gambar 3.6 Penunjukan hasil Distribusi

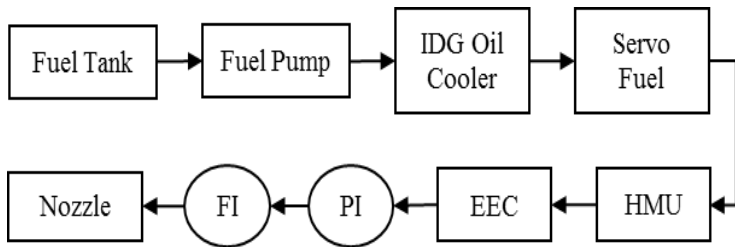
d. Evaluasi Kehandalan ($R(t)$) masing-masing komponen

Berdasarkan penentuan parameter uji dengan menggunakan bantuan *ReliaSoft Weibull++ Version 6* dapat menentukan kehandalan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada. Hasil dari perhitungan kehandalan dapat di plot

dalam sebuah grafik hubungan antara nilai Kehandalan ($R(t)$) dengan waktu operasional.

e. Penentuan Kehandalan Keseluruhan

Setelah mendapat nilai kehandalan dari masing-masing komponen *Engine Fuel and Control*, maka selanjutnya menghitung nilai kehandalan keseluruhan dari komponen-komponen *Engine Fuel and Control*. Untuk menghitung nilai kehandalan $R(t)$ sistem secara keseluruhan terlebih dahulu dengan melihat alur proses sistem pada P&ID *Engine Fuel and Control* (Lampiran A). Setelah itu membuat diagram blok sistem keseluruhan dari *Engine Fuel and Control* untuk mengetahui konfigurasi dari sistem apakah seri atau paralel. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6 sebagai berikut:



Gambar 3.7 PFD *Engine Fuel and Control*

Gambar 3.6 diatas adalah konfigurasi sistem *Engine Fuel and Control* yang memakai konfigurasi seri. Hal ini dikarenakan sistem *Engine Fuel and Control* memiliki satu *input* dan satu *output*. *Input* berasal dari *fuel tank* pesawat sebagai pemasok bahan bakar kemudian diproses dengan *fuel pump*, *IDG oil cooler*, *servo fuel heater*, *HMU*, dan *EEC* secara berurutan. *Fuel flow differential pressure switch* dan *fuel flow transmitter* sebagai monitoring tekanan dan laju aliran bahan bakar yang dialirkan. *Output* pada *nozzle* sebagai keluaran bahan bakar yang dialirkan menuju ruang pembakaran.

f. Penentuan TTR (*Time To Failure*)

Data yang digunakan adalah data *maintenance* komponen-komponen *Engine Fuel and Control* yang berupa data waktu perbaikan yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan terhadap komponen-komponen yang mengalami kerusakan.

g. Penentuan Distribusi TTR (*Time To Repair*)

Penentuan distribusi waktu antar perbaikan bertujuan untuk mendapatkan nilai kemungkinan lamanya waktu perbaikan pada sistem. Penentuan distribusi TTR dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan *software ReliaSoft Weibull ++6*. Adapun langkah-langkah untuk menentukan distribusi *Time to Repair* sama dengan langkah-langkah penentuan distribusi *Time to Failure* yang telah dijelaskan sebelumnya.

h. Evaluasi *Maintainability*

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari uji parameter dengan menggunakan *software ReliaSoft Weibull++ Version 6* dapat menentukan nilai *maintainability* dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada.

i. Evaluasi *Availability*

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari uji parameter dengan menggunakan *software ReliaSoft Weibull++ Version 6*, maka dapat ditentukan nilai *availability* dengan menggunakan persamaan-persamaan yang ada.

j. Evaluasi *Preventive Maintenance*

Evaluasi *Preventive Maintenance Reliability* berupa perbandingan nilai kehandalan komponen sebelum dilakukan *preventive maintenance* dengan nilai kehandalan setelah dilakukan *preventive maintenance* dengan acuan nilai kehandalan sebesar 70 % atau 0,70. Hasil dari perbandingan nilai tersebut dapat di plot dalam sebuah grafik hubungan antara nilai kehandalan dengan waktu operasional.

3.4.2 Metode Kualitatif

Hasil pengolahan data kualitatif untuk setiap unit maupun komponen dalam pengerjaan tugas akhir ini disajikan dalam dua buah tabel, yaitu tabel *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan tabel *Decission Worksheet* untuk RCM itu sendiri. Tabel 3.1 adalah contoh tabel FMEA dan Tabel 3.2 adalah contoh tabel *Decission Worksheet* dari suatu unit.

Tabel 3.1 Contoh Tabel FMEA Unit *Guard Beds Filter*

Failure Modes (FM)		Failure Causes	Failure Effect
1	<i>Plugged/Chocked (PLU)</i>	<i>Combiend Cause</i>	<i>Overload (over capacity gas on vessel), hazard potency</i>
2	<i>External Leakage Process Medium (ELU)</i>	<i>Leakage Wear</i>	<i>Pressure drop, environmental pollution</i>
3	<i>Structural Defficiency (STD)</i>	<i>Mechanical failure-general</i>	<i>Short Lifetime, Trip system and Vessel explotion</i>

Tabel 3.2 Contoh *Decission Worksheet* Unit *Guard Beds Filter*

FM	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Action Required
					H ₁	H ₁	H ₁				
					S ₁	S ₁	S ₁				
					O ₁	O ₁	O ₁				
	H	S	E	O	N ₁	N ₁	N ₁	H4	H5	S4	
1	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>Incondition</i>
2	Y	Y	N	N	N	Y	Y	-	-	-	<i>Scheduled on condition</i>
3	Y	Y	N	N	Y	N	N	-	-	-	<i>Non distructive test</i>

a. FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) pada tugas akhir ini digunakan untuk mengetahui komponen mana yang mengalami kegagalan, mengetahui sebab-sebab terjadinya kegagalan, mengetahui pengaruh kegagalan dan mengetahui cara-cara penanganan dengan adanya kegagalan tersebut. *Failure mode*, *failure cause* dan *failure effect* didapatkan dari hasil wawancara langsung dengan *engineer* di lapangan. *Failure mode* merupakan pengklasifikasian jenis kegagalan yang mungkin terjadi, *failure cause* berarti penyebab dari suatu kegagalan yang terjadi, sedangkan *failure effect* berarti penjelasan dari kegagalan itu sendiri yang merupakan dampak yang ditimbulkan dari suatu sebab (*cause*).

b. *Decision Worksheet*

Penentuan *evaluation consequence*, *proactive task*, maupun *default action*, secara kesatuan ditentukan berdasarkan langkah-langkah yang mengacu pada *The RCM II Decision Diagram* yang terlampir pada Lampiran E. Langkah-langkah evaluasi tersebut juga secara sistematis menjadi panduan pada saat wawancara untuk mengumpulkan data pada tugas akhir ini.

Dari suatu kegagalan secara sistematis akan diketahui jenis *failure consequence*-nya, apakah berpengaruh terhadap *Safety* (S), *Environment* (E), dan/atau terhadap *Operational* (O) (penjelasan *failure consequence* telah dijelaskan pada subbab 2.8.3). Adapun bila kegagalan tidak secara pasti diketahui pengaruhnya, maka dapat pula diklasifikasikan pada jenis *Hidden* (H). Pengaruh-pengaruh yang dihasilkan akibat kegagalan tersebut ditandai dengan pembubuhan kode *Yes* (Y) jika ada dan *No* (N) jika tidak ada.

Setelah itu, bagian selanjutnya adalah *proactive task*, di mana dalam hal ini kode *Yes* (Y) atau *No* (N) adalah jawaban untuk pertanyaan-pertanyaan berikut:

- N1 : Apakah suatu *task* perlu dilakukan untuk mendeteksi kegagalan yang terjadi atau yang akan terjadi?
- N2 : Apakah *scheduled restoration task* akan efektif dilakukan untuk mengurangi laju kegagalan?
- N3 : Apakah *scheduled discard task* akan efektif dilakukan untuk mengurangi laju kegagalan?

Kemudian, *default action* ditentukan dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

- H4 : Apakah semua langkah pencarian jenis *task* yang paling efektif untuk suatu kegagalan telah tepat dilakukan?
- H5 : Dapatkah suatu kejadian yang mengandung lebih dari satu kegagalan mempengaruhi keamanan (*safety*) dan lingkungan (*environment*)?
- S4 : Apakah kombinasi dari berbagai *task* akan efektif dilakukan untuk menghindari kegagalan.

Pada akhirnya, *action required* merupakan kolom yang berisi tindakan-tindakan yang diperlukan dan bersifat efektif untuk kegagalan yang terjadi, yang berkaitan dengan *failure consequences*, *proactive task* dan *default action*.

3.5 Analisis Biaya *Maintenance*

Pembiayaan *maintenance* dalam hal ini dilakukan pada setiap tindakan *maintenance* yang dilakukan, dalam hal ini diasumsikan bahwa *schedule preventive maintenance* dapat memulihkan sistem seperti pada kondisi baru. Analisis pembiayaan *maintenance* pada penelitian tugas akhir ini menggunakan persamaan 2.36 dan 2.37.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Evaluasi Kuantitatif *Engine Fuel and Control*

Evaluasi kuantitatif ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Reliasoft Weibull ++ Version 6* dari data *historical* kerusakan dan perbaikan komponen-komponen yang ada pada sistem *Engine Fuel and Control*. Evaluasi ini digunakan untuk mendapatkan distribusi dan parameter yang paling sesuai untuk data TTF (*Time To Failure*) dan TTR (*Time To Repair*). Distribusi dan parameter tersebut digunakan untuk mencari fungsi keandalan sebagai fungsi waktu $\{R(t)\}$, *maintainability* $\{M(t)\}$, *availability* $\{A(t)\}$, serta hubungan antara laju kegagalan (*failure rate*) terhadap langkah *preventive maintenance* yang diimplementasikan terhadap masing-masing komponen.

4.1.1 Evaluasi Kuantitatif *Fuel Pump*

Tahapan pengolahan data secara detail dan sistematis telah dijelaskan pada subbab 3.3.1. Sebagai contoh, Tabel 4.1 berikut ini merupakan data *maintenance record* yang telah dipilah untuk komponen *fuel pump* beserta hasil pengolahan TTF (*Time To Failure*), TTR (*Time To Repair*), MTTF (*Mean Time To failure*) dan MTTR (*Mean Time To Repair*), dari Ms. Excel:

Tabel 4.1 Data *Maintenance Fuel Pump*

Start Date	Completion Date	TTR (Hours)	TTF (Hours)
11/1/2012	11/1/2012	10	0
23/7/2012	23/7/2012	12	4656
8/8/2014	8/8/2014	14	17904
15/10/2014	15/10/2014	10	1632

Tabel 4.1 Lanjutan

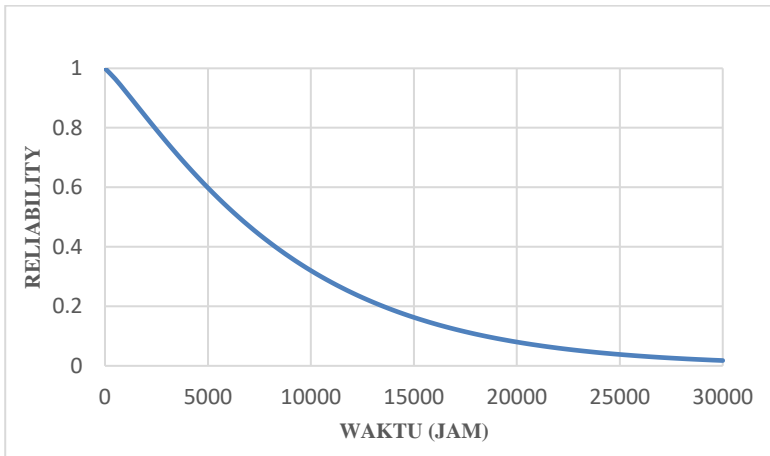
18/4/2015	18/4/2015	12	4440
23/7/2016	23/7/2016	14	11088
Jumlah		72	39720
Rata-rata		12	6620

Selanjutnya, dari hasil pengolahan dengan *software Reliasoft Weibull ++ Version 6* diperoleh pola penyebaran data *failure* atau TTF dari komponen *fuel pump* mengikuti pola distribusi *weibull 2*, di mana parameter beta adalah sebesar 1,1490 dan eta sebesar 8930,3581. Tabel 4.2 berikut adalah contoh pengolahan data keandalan pada *fuel pump* menggunakan interval variasi waktu setiap penambahan 500 jam, yang diolah dengan Ms. Excel. Rumus keandalan dimasukkan pada kolom R(t) yang disesuaikan dengan distribusinya, yaitu rumus distribusi normal pada Ms. Excel. Selanjutnya untuk parameter ketersediaan, keterawatan, maupun laju kegagalan juga menggunakan cara yang sama.

Tabel 4.2 Pengolahan Data Keandalan *Fuel Pump* di Ms. Excel

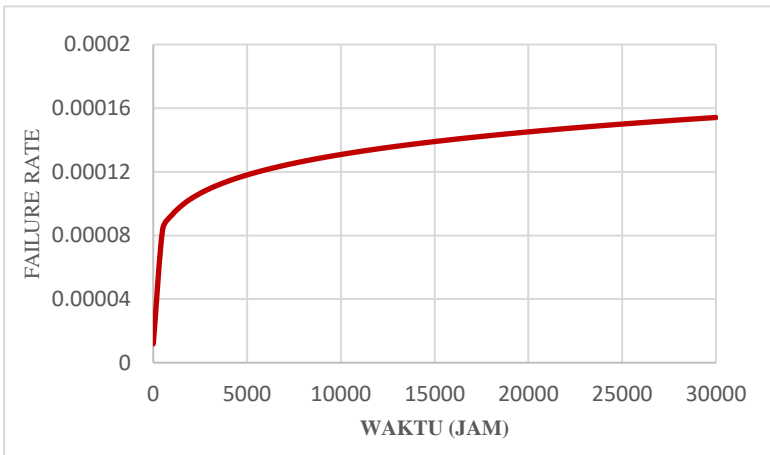
Reliability			
Weibull II		From TTF	
t(hours)	R(t)	Beta (β)	Eta (η)
0,01	1	1,1490	8930,3581
500	0,9642168	1,1490	8930,3581
1000	0,9223712	1,1490	8930,3581
1500	0,8791851	1,1490	8930,3581
...
3000	0,7516097	1,1490	8930,3581
3500	0,7111530	1,1490	8930,3581
4000	0,6720708	1,1490	8930,3581

Gambar 4.1 adalah plot grafik keandalan komponen *fuel pump*:



Gambar 4.1 Keandalan *Fuel Pump* Terhadap Waktu

Berdasarkan pada Tabel 4.2, dapat diketahui bahwa keandalan dari komponen *fuel pump* akan menurun hingga mendekati 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 3500 jam.

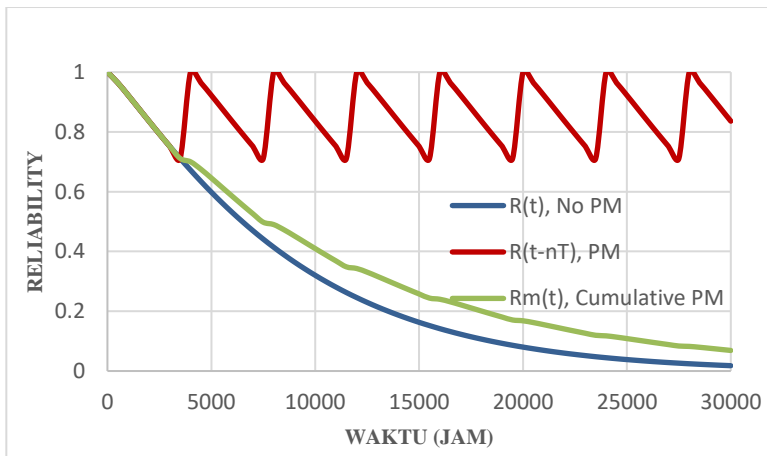


Gambar 4.2 Laju Kegagalan *Fuel Pump* Terhadap Waktu

Tindakan *maintenance* yang dilakukan setelah komponen *fuel pump* beroperasi selama 3500 jam kemudian dievaluasi menurut laju kegagalannya. Gambar 4.2 di atas merupakan grafik laju kegagalan untuk komponen *fuel pump*.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa laju kegagalannya adalah *increasing failure rate*, di mana dalam hal ini berarti tindakan *preventive maintenance* optimal untuk dilakukan pada komponen *fuel pump*.

Apabila *preventive maintenance* tersebut diimplementasikan, berikut adalah ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada *fuel pump*.



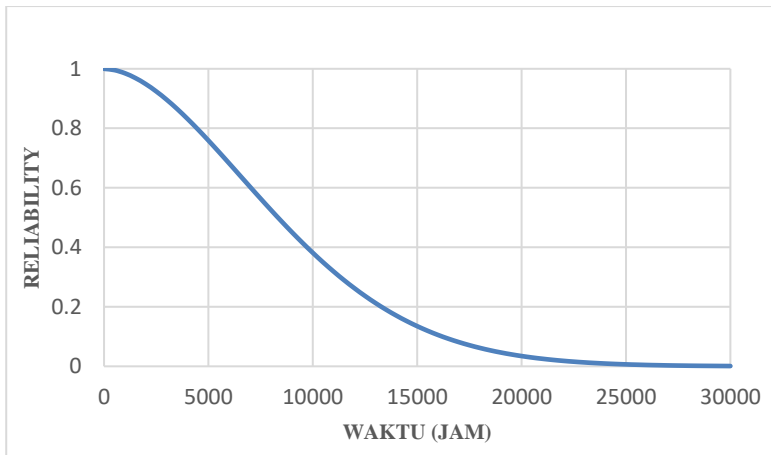
Gambar 4.3 Penerapan PM pada *Fuel Pump*

Berdasarkan Gambar 4.3 tersebut, terbukti bahwa nilai keandalan dari komponen *fuel pump* setelah dilakukan perawatan lebih besar daripada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis hijau dan biru pada grafik. Maka untuk suatu komponen dengan laju kegagalan *increasing failure rate* tindakan perawatan yang diterapkan akan efektif, karena nilai keandalannya akan semakin meningkat terhadap waktu. Tindakan perawatan yang paling efektif untuk komponen *fuel pump* adalah *schedule restoration task* pada setiap 3500 jam operasi.

4.1.2 Evaluasi Kuantitatif IDG Oil Cooler

Dengan menggunakan tahapan yang sama menurut subbab 3.3.1, data kuantitatif komponen lainnya diolah untuk mendapatkan parameter-parameter penting yang diinginkan. Data *maintenance record* yang telah dipilah dan diolah hingga didapatkan MTTF dan MTTR secara lengkap dilampirkan pada Lampiran B.

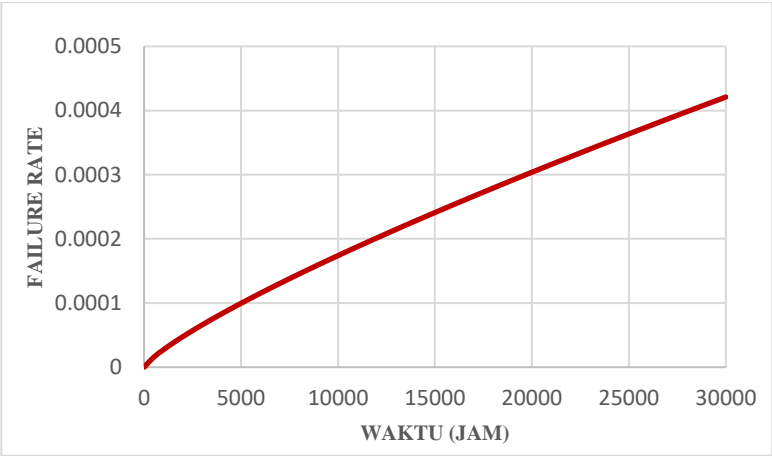
Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari komponen IDG Oil Cooler mengikuti pola distribusi *weibull 2*, di mana parameter beta adalah sebesar 1,8048 dan eta sebesar 10207,5679. Gambar 4.4 berikut adalah grafik keandalan komponen IDG Oil Cooler.



Gambar 4.4 Keandalan IDG Oil Cooler Terhadap Waktu

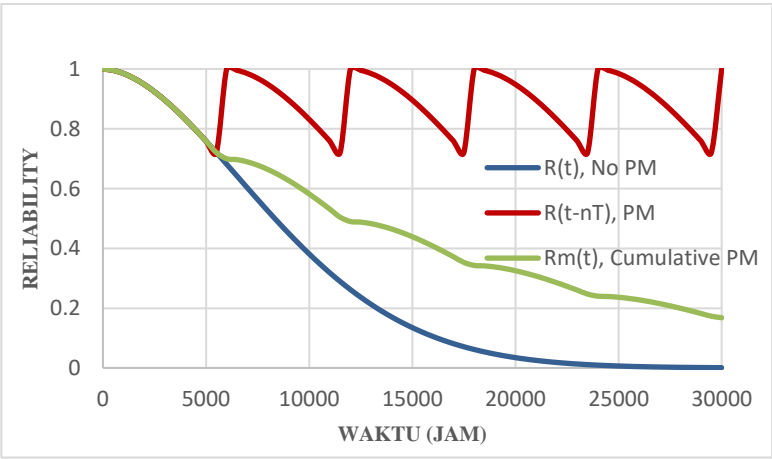
Berdasarkan Gambar 4.4 di atas, dapat diketahui bahwa keandalan dari komponen IDG Oil Cooler akan menurun hingga mendekati 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 5500 jam. Terlihat bahwa komponen IDG Oil Cooler memiliki nilai keandalan yang cukup baik terhadap waktu.

Kemudian grafik laju kegagalan untuk komponen IDG Oil Cooler ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 Laju Kegagalan IDG Oil Cooler Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa laju keagalannya adalah *increasing failure rate*, di mana dalam hal ini berarti tindakan *preventive maintenance* optimal untuk dilakukan pada komponen IDG Oil Cooler.

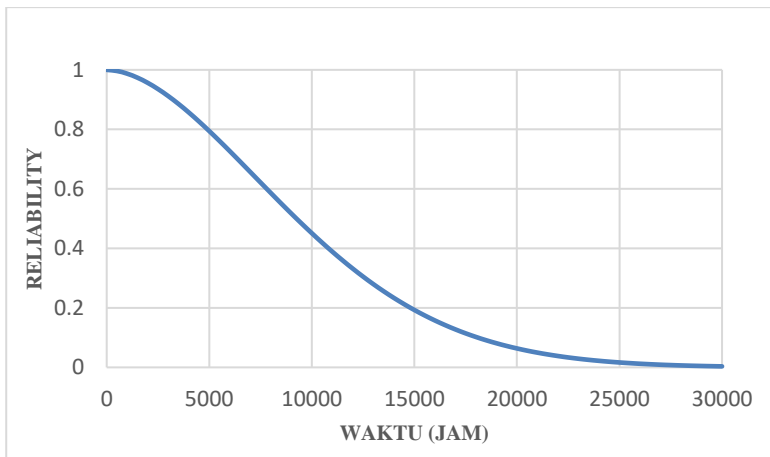


Gambar 4.6 Penerapan PM Pada IDG Oil Cooler

Gambar 4.6 tersebut adalah hasil implementasi perawatan berkala jika diterapkan pada komponen *IDG Oil Cooler*. Berdasarkan Gambar 4.3 tersebut, terbukti bahwa nilai keandalan dari komponen *IDG Oil Cooler* setelah dilakukan perawatan jauh lebih besar daripada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis hijau $R_m(t)$ yang berada jauh di atas garis biru $R(t)$ pada grafik. Maka untuk suatu komponen dengan laju kegagalan *increasing failure rate* tindakan perawatan yang diterapkan akan efektif, karena nilai keandalannya akan semakin meningkat terhadap waktu. Tindakan perawatan yang paling efektif untuk komponen *IDG Oil Cooler* adalah *schedule restoration task* pada setiap 5500 jam operasi.

4.1.3 Evaluasi Kuantitatif *Servo Fuel Heater*

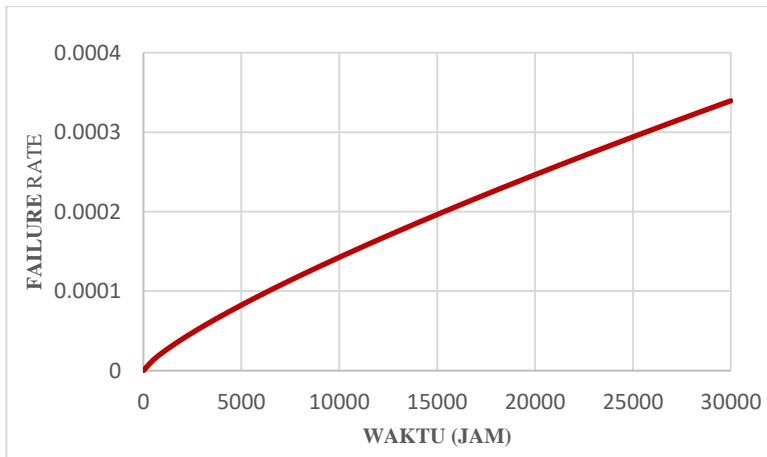
Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari komponen *Servo Fuel Heater* mengikuti pola distribusi *weibull 2*, di mana parameter beta adalah sebesar 1,7900 dan eta sebesar 11357,1112. Gambar 4.7 berikut adalah grafik keandalan komponen *Servo Fuel Heater*.



Gambar 4.7 Keandalan *Servo Fuel Heater* Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 4.7 di atas, dapat diketahui bahwa keandalan dari komponen *Servo Fuel Heater* akan menurun hingga mendekati 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 6000 jam. Terlihat bahwa komponen *Servo Fuel Heater* memiliki nilai keandalan yang cukup baik terhadap waktu.

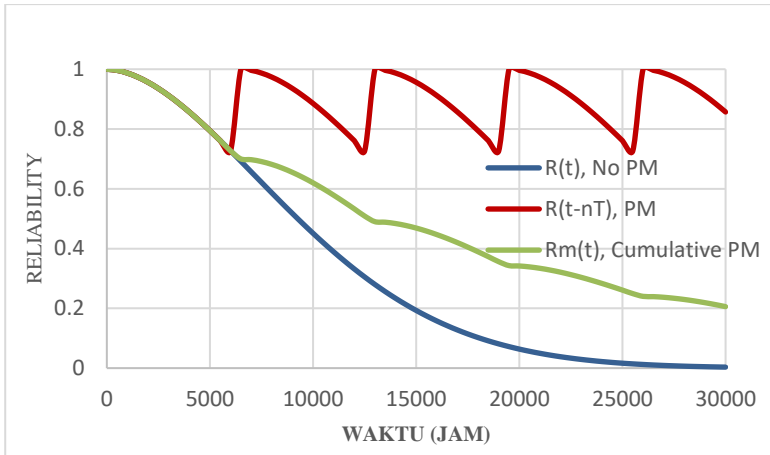
Kemudian grafik laju kegagalan untuk komponen *Servo Fuel Heater* ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4. 8 Laju Kegagalan *Servo Fuel Heater* Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa laju keagalannya adalah *increasing failure rate*, di mana dalam hal ini berarti tindakan *preventive maintenance* optimal untuk dilakukan pada komponen *Servo Fuel Heater*.

Apabila *preventive maintenance* tersebut diimplementasikan, berikut adalah ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada komponen *Servo Fuel Heater*.

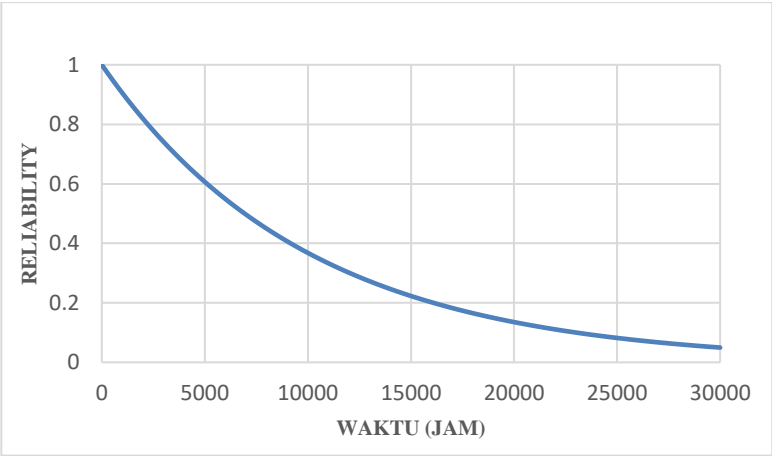


Gambar 4.9 Penerapan PM Pada *Servo Fuel Heater*

Berdasarkan Gambar 4.9 tersebut, terbukti bahwa nilai keandalan dari komponen *servo fuel heater* setelah dilakukan perawatan jauh lebih besar daripada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis hijau $R_m(t)$ yang berada jauh di atas garis biru $R(t)$ pada grafik. Maka untuk suatu komponen dengan laju kegagalan *increasing failure rate* tindakan perawatan yang diterapkan akan efektif, karena nilai keandalannya akan semakin meningkat terhadap waktu. Tindakan perawatan yang paling efektif untuk komponen fuel pump adalah *schedule restoration task* pada setiap 6000 jam operasi.

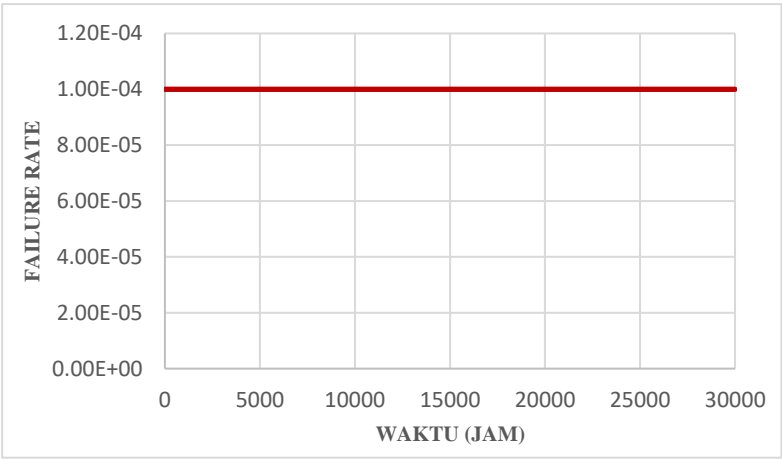
4.1.4 Evaluasi Kuantitatif *Electronic Engine Control (EEC)*

Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari komponen *Electronic Engine Control (EEC)* mengikuti pola distribusi *eksponensial* 1, di mana parameter lambda adalah sebesar 0,0001. Gambar 4.10 berikut adalah grafik keandalan komponen *Electronic Engine Control (EEC)*.



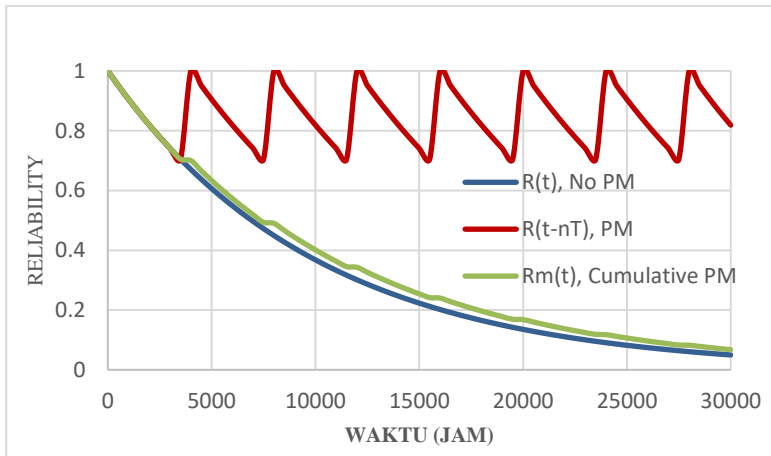
Gambar 4.10 Keandalan EEC Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 4.10 di atas, dapat diketahui bahwa keandalan dari komponen EEC akan menurun hingga mendekati 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 3500 jam. Terlihat bahwa komponen EEC memiliki nilai keandalan yang baik terhadap waktu.



Gambar 4.11 Laju Kegagalan EEC Terhadap Waktu

Gambar 4.11 di atas merupakan grafik laju kegagalan untuk komponen EEC. Pola distribusi data eksponensial pada komponen EEC menunjukkan bahwa komponen ini memiliki laju kegagalan dengan keadaan *constant failure rate*.

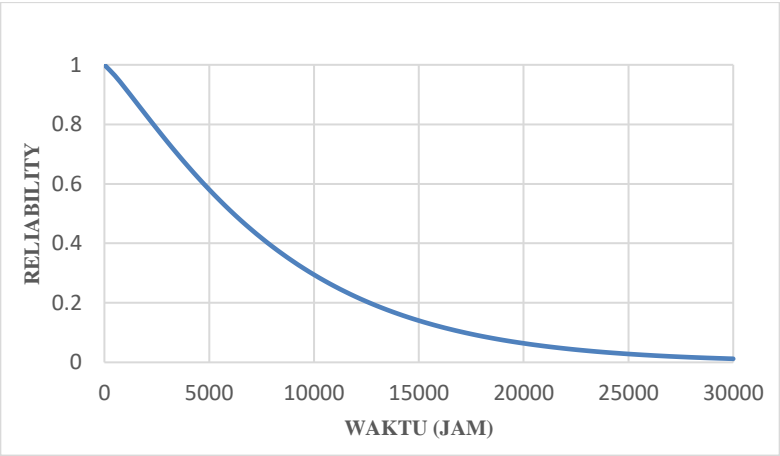


Gambar 4.12 Penerapan PM Pada EEC

Berdasarkan Gambar 4.12 di atas, terbukti bahwa pada saat dilakukan perawatan berkala, terdapat peningkatan dari nilai keandalan sistem, walaupun tidak begitu signifikan. Hal tersebut merupakan ciri khas dari komponen dengan *constant failure rate*. Tindakan perawatan yang paling efektif untuk komponen EEC adalah *schedule on condition task* pada setiap 3500 jam operasi.

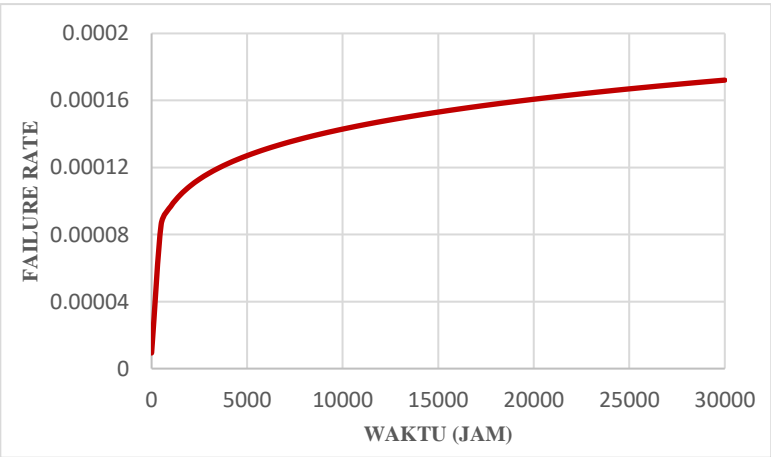
4.1.5 Evaluasi Kuantitatif *Hydro-mechanical Unit* (HMU)

Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari komponen *Hydro-mechanical Unit* (HMU) mengikuti pola distribusi *weibull 2*, di mana parameter beta adalah sebesar 1,1694 dan eta sebesar 8423,6311. Gambar 4.13 berikut adalah grafik keandalan komponen *Hydro-mechanical Unit* (HMU).



Gambar 4.13 Keandalan HMU Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 4.13 di atas, dapat diketahui bahwa keandalan dari komponen HMU akan menurun hingga mendekati 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 3000 jam. Terlihat bahwa komponen HMU memiliki nilai keandalan yang baik terhadap waktu.

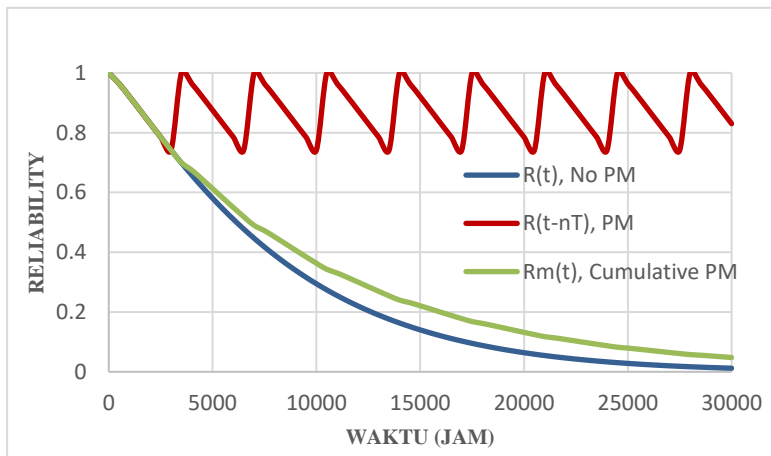


Gambar 4.14 Laju Kegagalan HMU Terhadap Waktu

Tindakan *maintenance* yang dilakukan setelah komponen HMU beroperasi selama 3000 jam kemudian dievaluasi menurut laju kegagalannya. Gambar 4.14 di atas merupakan grafik laju kegagalan untuk komponen HMU.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa laju kegagalannya adalah *increasing failure rate*, di mana dalam hal ini berarti tindakan *preventive maintenance* optimal untuk dilakukan pada komponen HMU.

Apabila *preventive maintenance* tersebut diimplementasikan, berikut adalah ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada HMU.

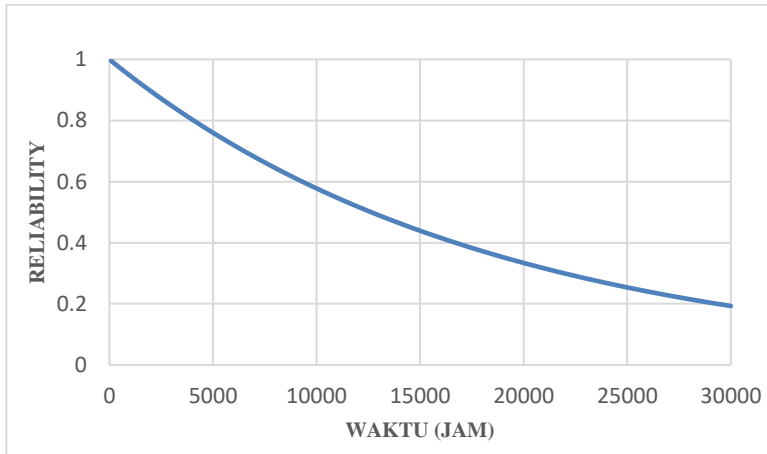


Gambar 4.15 Penerapan PM Pada HMU

Berdasarkan Gambar 4.15 tersebut, terbukti bahwa nilai keandalan dari komponen HMU setelah dilakukan perawatan lebih besar daripada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis hijau dan biru pada grafik. Maka untuk suatu komponen dengan laju kegagalan *increasing failure rate* tindakan perawatan yang diterapkan akan efektif, karena nilai keandalannya akan semakin meningkat terhadap waktu. Tindakan perawatan yang paling efektif untuk komponen HMU adalah *schedule restoration task* pada setiap 3000 jam operasi.

4.1.6 Evaluasi Kuantitatif *Fuel Flow Transmitter*

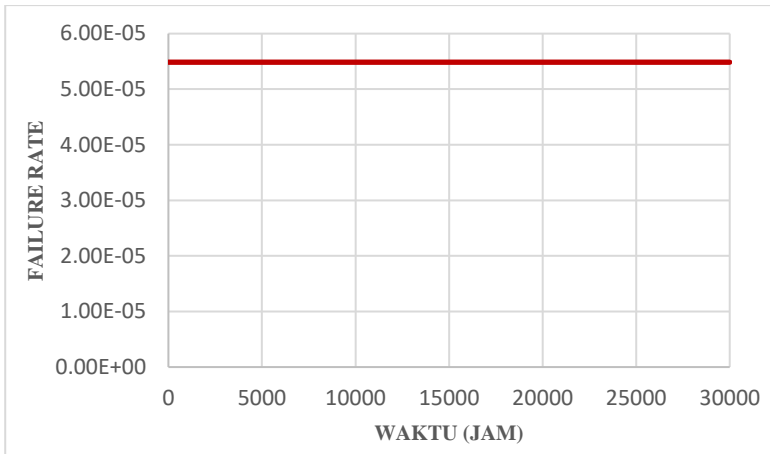
Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari komponen *Fuel Flow Transmitter* mengikuti pola distribusi *eksponensial* 1, di mana parameter λ adalah sebesar 0.00005485. Gambar 4.16 berikut adalah grafik keandalan komponen *Fuel Flow Transmitter*.



Gambar 4.16 Keandalan *Fuel Flow Transmitter* Terhadap Waktu

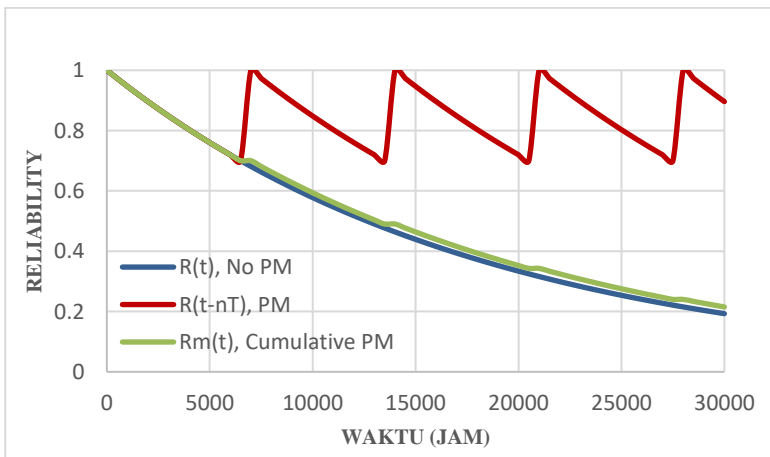
Berdasarkan Gambar 4.16 di atas, dapat diketahui bahwa keandalan dari komponen *Fuel Flow Transmitter* akan menurun hingga mendekati 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 6500 jam. Terlihat bahwa komponen *Fuel Flow Transmitter* memiliki nilai keandalan yang cukup baik terhadap waktu dan cukup jarang mengalami mode kegagalan.

Kemudian grafik laju kegagalan untuk komponen *Fuel Flow Transmitter* ditunjukkan pada Gambar 4.17 berikut ini. Berdasarkan grafik berikut, dapat diketahui bahwa pola distribusi laju kegagalan untuk komponen *Fuel Flow Transmitter* mengikuti pola distribusi data eksponensial yang menyebabkan komponen ini memiliki laju kegagalan dengan keadaan *constant failure rate*.



Gambar 4.17 Laju Kegagalan *Flow Transmitter* Terhadap Waktu

Apabila *preventive maintenance* tersebut diimplementasikan, berikut adalah ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada komponen *Fuel Flow Transmitter*.

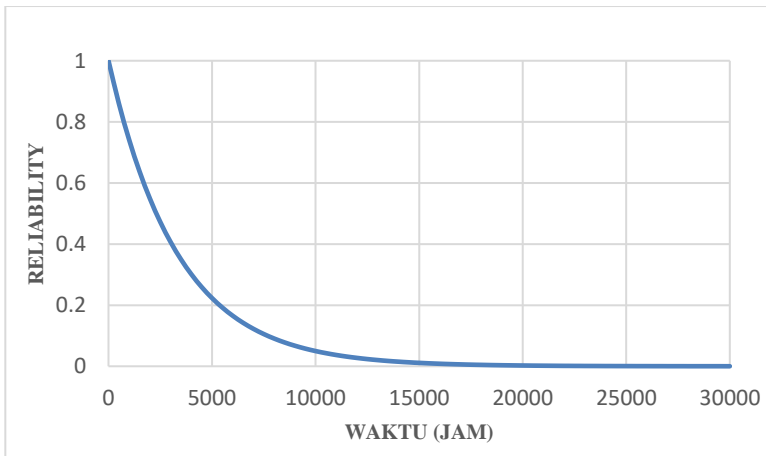


Gambar 4.18 Penerapan PM Pada *Flow Transmitter*

Seperti halnya komponen EEC sebelumnya, komponen *Fuel Flow Transmitter* juga memiliki laju kegagalan dengan keadaan *constant failure rate*, sehingga jenis perawatan yang cocok adalah *scheduled on condition task* pada setiap 6500 jam operasi. Berdasarkan gambar 4.18 di atas, terbukti bahwa saat dilakukan perawatan berkala, terdapat peningkatan dari nilai keandalan komponen ini, walaupun tidak begitu signifikan. Hal tersebut sesuai dengan berdasarkan teori yaitu merupakan ciri khas dari komponen dengan *constant failure rate*.

4.1.7 Evaluasi Kuantitatif *Fuel Flow Differential Pressure Switch* (FFDPS)

Pola penyebaran data *failure* atau TTF dari komponen *Fuel Flow Differential Pressure Switch* (FFDPS) mengikuti pola distribusi eksponensial 1, di mana parameter lambda adalah sebesar 0,0003. Gambar 4.19 berikut adalah grafik keandalan komponen *Fuel Flow Differential Pressure Switch* (FFDPS).

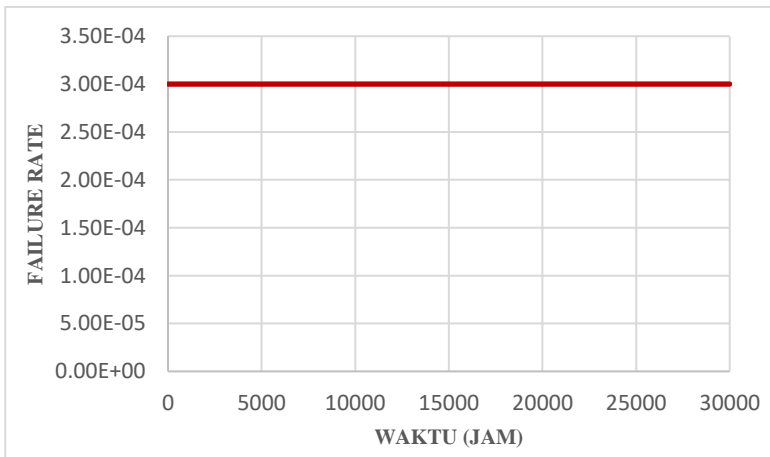


Gambar 4. 19 Keandalan FFDPS Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 4.19 di atas, dapat diketahui bahwa keandalan dari komponen FFDPS akan menurun hingga mendekati

0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 1000 jam. Terlihat bahwa komponen FFDPS memiliki nilai keandalan yang sangat rendah dibanding komponen lainnya terhadap waktu, dan sering mengalami mode kegagalan.

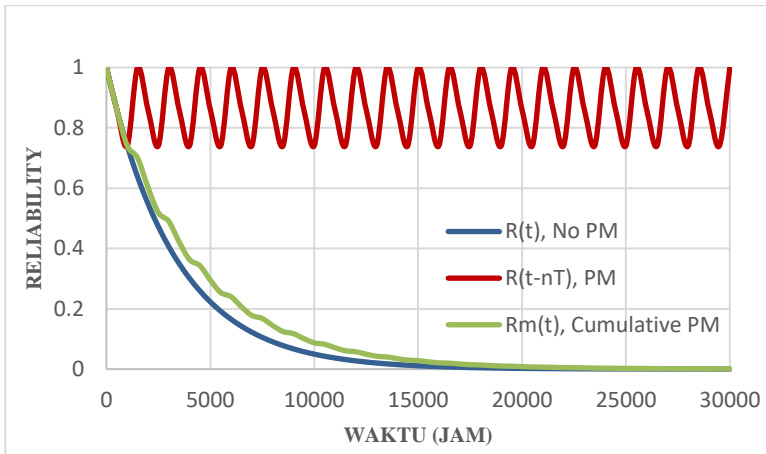
Tindakan *maintenance* yang dilakukan setelah komponen FFDPS beroperasi selama 1000 jam kemudian dievaluasi menurut laju kegagalannya. Gambar 4.20 berikut merupakan grafik laju kegagalan untuk komponen FFDPS.



Gambar 4.20 Laju Kegagalan FFDPS Terhadap Waktu

Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa pola distribusi laju kegagalan untuk komponen FFDPS mengikuti pola distribusi data eksponensial yang menyebabkan komponen ini memiliki laju kegagalan dengan keadaan *constant failure rate*, akan tetapi nilai keandalan komponen FFDPS jauh lebih rendah dari pada komponen yang lainnya.

Apabila *preventive maintenance* tersebut diimplementasikan, berikut adalah ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada komponen *Fuel Flow Differential Pressure Switch*.



Gambar 4.21 Penerapan PM Pada FFDPS

Seperti halnya komponen EEC dan *Fuel Flow Transmitter* sebelumnya, komponen FFDPS juga memiliki laju kegagalan dengan keadaan *constant failure rate*, sehingga jenis perawatan yang cocok adalah *scheduled on condition task* pada setiap 1000 jam operasi. Berdasarkan gambar 4.21 di atas, terbukti bahwa saat dilakukan perawatan berkala, terdapat peningkatan dari nilai keandalan komponen ini, walaupun tidak begitu signifikan. Hal tersebut sesuai dengan berdasarkan teori yaitu merupakan ciri khas dari komponen dengan *constant failure rate*. Akan tetapi jika dilihat dari segi nilai keandalannya komponen FFDPS memiliki nilai keandalan yang jauh di bawah komponen lainnya.

Berdasarkan hasil pengolahan data secara kuantitatif yang telah dilakukan, Tabel 4.3 merupakan hasil rekap untuk tindakan perawatan setiap komponen yang ada pada sistem *Engine Fuel and Control* yang menjadi penjadwalan perawatan dari setiap komponen itu sendiri, yang dilakukan secara maksimal dan efektif sebelum mencapai jam operasi masing-masing komponen. Harapannya pada tabel dapat menyajikan hasil penerapan *preventive maintenance* dan dapat menjadikan sebuah rekomendasi kepada perusahaan yaitu PT. GMF AeroAsia.

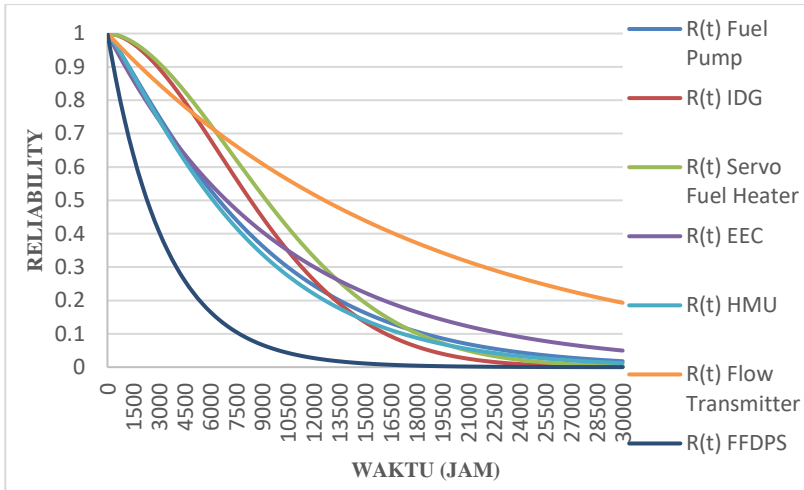
Tabel 4.3 Jenis Perawatan dan Interval Perawatan Berdasarkan Hasil Implementasi *Preventive Maintenance*

No.	Komponen	Jenis dan Interval Perawatan
1	<i>Fuel Pump</i>	<i>Scheduled Restoration Task</i> (3500 jam operasi)
2	<i>IDG Oil Cooler</i>	<i>Scheduled Restoration Task</i> (5500 jam operasi)
3	<i>Servo Fuel Heater</i>	<i>Scheduled Restoration Task</i> (6000 jam operasi)
4	<i>Electronic Engine Control</i>	<i>Scheduled On-Condition Task</i> (3500 jam operasi)
5	<i>Hydro-mechanical Unit</i>	<i>Scheduled Restoration Task</i> (3000 jam operasi)
6	<i>Fuel Flow Transmitter</i>	<i>Scheduled On-Condition Task</i> (6500 jam operasi)
7	<i>Fuel Fow Differential Pressure Switch</i>	<i>Scheduled On-Condition Task</i> (1000 jam operasi)

Dengan demikian, tindakan perawatan pada setiap komponen yang terjadwal secara sistematis dan mengacu pada tindakan *preventive* atau pencegahan sebelum terjadinya kegagalan yang berulang dapat lebih efektif dibandingkan dengan penggantian komponen secara terus menerus jika terjadi kerusakan berulang.

4.2 Perhitungan Nilai Keandalan Sistem

Berdasarkan dari hasil analisis masing-masing keandalan pada tiap-tiap komponen, maka dapat terlihat pada plot grafik keandalan yang telah disajikan sebelumnya. Hasil plot grafik keandalan dari masing-masing komponen dapat dilakukan perbandingan dari keseluruhan komponen. Perbandingan tersebut disajikan pada Gambar 4.22 berikut ini.



Gambar 4.22 Perbandingan Keandalan Seluruh Komponen *Engine Fuel and Control*

Grafik 4.22 di atas menunjukkan bahwa komponen FFDPS memiliki penurunan nilai keandalan yang relatif rendah terhadap waktu. Sedangkan komponen *Fuel Flow Transmitter* menunjukkan bahwa nilai keandalannya paling tinggi terhadap waktu.

Pada bab 3, telah diketahui bahwa sistem *Engine Fuel and Control* mempunyai konfigurasi yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Sehingga untuk menghitung nilai keandalan sistem, terlebih dahulu mengetahui nilai keandalan masing-masing komponen. Keandalan pada *Engine Fuel and Control* dinyatakan dalam persamaan (2.38).

Dimana:

$$R_1 = R(\text{Fuel Pump})$$

$$R_2 = R(\text{IDG Oil Cooler})$$

$$R_3 = R(\text{Servo Fuel Heater})$$

$$R_4 = R(\text{Electronic Engine Control})$$

$$R_5 = R(\text{Hydro-mechanical Unit})$$

$$R_6 = R(\text{Fuel Flow Transmitter})$$

$$R_7 = R(\text{Fuel Flow Differential Pressure Switch})$$

Nilai keandalan pada operasional selama 500 jam

$$R_1 = 0.964216$$

$$R_2 = 0.995686$$

$$R_3 = 0.996272$$

$$R_4 = 0.951229$$

$$R_5 = 0.963881$$

$$R_6 = 0.972946$$

$$R_7 = 0.860708$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} R_S &= P(E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap E_4 \cap E_5 \cap E_6 \cap E_7) \\ &= P(E_1) P(E_2) P(E_3) P(E_4) P(E_5) P(E_6) P(E_7) \\ &= (R_1) (R_2) (R_3) (R_4) (R_5) (R_6) (R_7) \\ &= 0.964216 \times 0.995686 \times 0.996272 \times 0.951229 \times 0.963881 \times \\ &\quad 0.972946 \times 0.860708 \\ &= 0.73 \end{aligned}$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan, nilai keandalan sistem secara keseluruhan pada *Engine Fuel and Control* didapatkan sebesar 0.73 pada operasional selama 500 jam. Dalam hal ini pihak perusahaan memberikan garansi batas nilai keandalan tersebut untuk pesawat layak terbang. Nilai keandalan sistem tersebut, juga menjadi acuan untuk batas sistem mendapatkan perlakuan *maintenance*. Nilai keandalan masing-masing komponen untuk tiap-tiap jam operasional tertentu dapat dilihat pada Lampiran C.

4.3 Evaluasi Kualitatif *Engine Fuel and Control*

Pada penelitian tugas akhir ini, evaluasi kualitatif dilakukan pada setiap komponen penyusun sistem *Engine Fuel and Control* adalah berupa penjelasan fungsi (*system function*) kemudian diikuti dengan hasil pengolahan data yang disajikan dalam bentuk FMEA dan tabel *decission worksheet*. Evaluasi kualitatif ini sebagai data pendukung bagaimana pengambilan tindakan saat perawatan.

4.3.1 Evaluasi Kualitatif *Fuel Pump*

Fungsi dari komponen *Fuel Pump* ini adalah untuk menerima pasokan bahan bakar (*fuel*) dari tangki penyimpanan bahan bakar pesawat, memberikan tekanan pada bahan bakar sebelum kemudian mendistribusikan bahan bakar menuju komponen HMU untuk selanjutnya dialirkan menuju *combustion chamber*. Tabel 4.4 menunjukkan hasil FMEA dari komponen *Fuel Pump*.

Tabel 4.4 FMEA *Fuel Pump*

<i>Failure Mode (FM)</i>		<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1	<i>Internal Leakage</i>	<i>Seal</i> dan <i>packing</i> pada pompa aus	Pompa tidak mampu memberikan tekanan yang maksimum (minimum 1000psi)
2	<i>Low fuel pressure</i>	<i>Bearing</i> dan <i>gear</i> aus akibat korosi dan kavitasi	Suplai <i>fuel</i> tidak maksimum dan pembakaran tidak sempurna
3	<i>No fuel flow</i>	Terjadi korosi yang besar pada <i>bearing</i> hingga terjadi kebocoran	<i>Fuel</i> yang mengalir sedikit bahkan tidak ada dan pembakaran tidak sempurna
4	<i>Over fuel pressure</i>	<i>Fuel filter</i> mengalami <i>clogging</i> karena kontaminan	Merusak komponen <i>fuel system</i> dan angka penggantian <i>part</i> jadi tinggi

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen *Fuel Pump* tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decission work* yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 *Decission Worksheet Untuk Fuel Pump*

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>Proactive Task</i>			<i>Default Action</i>			<i>Action Required</i>
					H ₁	H ₁	H ₁				
					S ₁ O ₁ N ₁	S ₁ O ₁ N ₁	S ₁ O ₁ N ₁	H4	H5	S4	
1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	<i>Discard Task</i>
2	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	<i>Discard Task</i>
3	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	<i>Discard Task</i>
4	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	<i>Discard Task</i>

4.3.2 Evaluasi Kualitatif IDG Oil Cooler

IDG *Oil Cooler* merupakan salah satu komponen penukar panas yang digunakan dalam sistem ini, yang berfungsi untuk menjaga temperartur oli pada IDG agar tidak meningkat, serta memanaskan *fuel* pada mesin agar memastikan tidak ada lagi gumpalan es yang terbentuk yang menyebabkan *clogging*. Tabel 4.6 menunjukkan hasil FMEA dari komponen IDG *Oil Cooler*.

Tabel 4.6 FMEA IDG *Oil Cooler*

<i>Failure Mode (FM)</i>		<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1	<i>Very low temperature</i>	Elemen penukar panas <i>out of maintenance</i>	<i>Fuel</i> yang mengalir ke <i>fuel nozzles</i> mengandung gumpalan es

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen IDG *Oil Cooler* tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decission work* yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 berikut ini.

Tabel 4.7 *Decission Worksheet Untuk IDG Oil Cooler*

FM	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Action Required
					H ₁	H ₁	H ₁				
	H	S	E	O	S ₁	S ₁	S ₁				
					O ₁	O ₁	O ₁	H4	H5	S4	
					N ₁	N ₁	N ₁				
1	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	Restoration task

4.3.3 Evaluasi Kualitatif Servo Fuel Heater

Servo Fuel Heater merupakan salah satu komponen penukar panas yang digunakan dalam sistem ini, yang berfungsi untuk memanaskan pasokan *fuel* yang menuju *servo system* pada HMU, *Servo Fuel Heater* menggunakan pemanas temperatur oli *scavenge* untuk meningkatkan temperatur *fuel* yang menuju ke *servo*. Tabel 4.8 menunjukkan hasil FMEA dari komponen *Servo Fuel Heater*.

Tabel 4.8 *FMEA Servo Fuel Heater*

<i>Failure Mode (FM)</i>		<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1	<i>Very low temperature</i>	Elemen penukar panas <i>out of maintenance</i>	<i>Fuel</i> yang mengalir ke <i>servo system</i> mengandung gumpalan es

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen IDG Oil Cooler tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decission work* yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9 *Decission Worksheet Untuk Servo Fuel Heater*

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>Proactive Task</i>			<i>Default Action</i>			<i>Action Required</i>
					H ₁	H ₁	H ₁				
					S ₁	S ₁	S ₁				
	H	S	E	O	O ₁	O ₁	O ₁	H4	H5	S4	
					N ₁	N ₁	N ₁				
1	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>Restoration task</i>

4.3.4 Evaluasi Kualitatif *Electronic Engine Control* (EEC)

Electronic Engine Control merupakan komponen pengendali dalam pendistribusian *fuel* pada sistem ini, yang berfungsi sebagai pengendali utama sistem mesin, memanejemen *power* pada mesin, pada intinya seluruh komponen pada mesin terintegrasi dengan komponen *Electronic Engine Control*. Tabel 4.10 menunjukkan hasil FMEA dari komponen *Electronic Engine Control*.

Tabel 4.10 *FMEA Electronic Engine Control (EEC)*

<i>Failure Mode (FM)</i>		<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1	<i>EEC bite not operate</i>	Terjadi kesalahan pada konektor antara <i>EEC</i> dan komponen lain	<i>EEC</i> tidak dapat mengirim dan menerima sinyal informasi
2	<i>EEC Internal Fault</i>	Komponen internal elektronik mengalami kerusakan	<i>EEC</i> tidak dapat mengindikasikan dalam suatu keadaan
3	<i>EEC over temperature</i>	Lapisan pelindung eksternal <i>EEC</i> terjadi kebocoran	Komponen internal elektronik mudah mengalami kerusakan

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen *Electronic Engine Control* tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decision work* yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 berikut ini.

Tabel 4.11 *Decision Worksheet* Untuk EEC

FM	<i>Consequence Evaluation</i>				<i>Proactive Task</i>			<i>Default Action</i>			<i>Action Required</i>
					H ₁	H ₁	H ₁				
					S ₁	S ₁	S ₁				
	H	S	E	O	O ₁	O ₁	O ₁	H4	H5	S4	
1	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>On-condition Task</i>
2	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>On-condition Task</i>
3	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>On-condition Task</i>

4.3.5 Evaluasi Kualitatif *Hydro-mechanical Unit* (HMU)

Hydro-mechanical Unit ini sama halnya seperti EEC yaitu merupakan komponen pengendali akan tetapi bersifat mekanikal, yang berfungsi mengontrol jumlah konsumsi *fuel* yang dibutuhkan mesin menjaga kecepatan putaran mesin, serta mengukur laju aliran *fuel* yang menuju pada *fuel nozzles*. Tabel 4.12 menunjukkan hasil FMEA dari komponen *Hydro-mechanical Unit*.

Tabel 4.12 FMEA *Hydro-mechanical Unit* (HMU)

<i>Failure Mode (FM)</i>		<i>Failure Causes</i>	<i>Failure Effect</i>
1	<i>High Fuel Flow</i>	Valve yang mengatur aliran <i>fuel</i> di HMU tidak berfungsi baik	Menimbulkan <i>high EGT</i> dan <i>slow to decelerate</i>
2	<i>Low speed</i>	Terjadi kelonggongan antara bagian konektor HMU	Menyebabkan mesin <i>slow to accelerate</i>

Tabel 4.12 Lanjutan

Failure Mode (FM)		Failure Causes	Failure Effect
3	Sistem <i>governor</i> tidak berfungsi	Terjadi kegagalan fungsi pada sistem <i>governor</i> di HMU	Performansi <i>engine</i> menjadi tidak stabil dalam beroperasi

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen *Hydro-mechanical Unit* tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decission work* yang ditunjukkan pada Tabel 4.13 berikut ini.

Tabel 4.13 *Decission Worksheet* Untuk HMU

FM	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Action Required
					H₁	H₁	H₁				
					S₁	S₁	S₁				
					O₁	O₁	O₁	H4	H5	S4	
		H	S	E	O	N₁	N₁				
1	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>Restoration Task</i>
2	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>On-condition Task</i>
3	Y	N	N	Y	N	Y	N	-	-	-	<i>Restoration Task</i>

4.3.6 Evaluasi Kualitatif *Fuel Flow Transmitter*

Fuel Flow Transmitter merupakan salah satu komponen instrumentasi yang mendukung proses pendistribusian *fuel*, sebelum *fuel* menuju *fuel nozzles* untuk selanjutnya menuju *combustion chamber*. *Fuel Flow Transmitter* ini berfungsi untuk memberikan sinyal kepada HMU atas perintah EEC. Tabel 4.14 menunjukkan hasil FMEA dari komponen *Fuel Flow Transmitter*.

Tabel 4.14 FMEA *Fuel Flow Transmitter*

Failure Mode (FM)		Failure Causes	Failure Effect
1	<i>Abnormal Instrument Reading</i>	Konektor kendur dan terdapat campuran kotoran dalam <i>fuel</i>	Terjadi kesalahan dalam menentukan jumlah <i>fuel</i> yang dibutuhkan

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen *Fuel Flow Transmitter* tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decission work* yang ditunjukkan pada Tabel 4.15 berikut ini.

Tabel 4.15 *Decission Worksheet* Untuk *Fuel Flow Transmitter*

FM	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Action Required
					H ₁	H ₁	H ₁				
	H	S	E	O	S ₁	S ₁	S ₁				
					O ₁	O ₁	O ₁				
					N ₁	N ₁	N ₁				
							H4	H5	S4		
1	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	On-condition Task

4.3.7 Evaluasi Kualitatif *Fuel Flow Differential Pressure Swicth* (FFDPS)

FFDPS ini sama halnya dengan *Fuel Flow Transmitter* merupakan salah satu komponen instrumentasi yang mendukung proses pendistribusian *fuel*, FFDPS ini berfungsi untuk mengindikasikan jika *fuel filter* mengalami *clogging* dan menginformasikan agar *valve bypass* terbuka otomatis. Tabel 4.16 menunjukkan hasil FMEA dari komponen FFDPS.

Tabel 4.16 FMEA *Fuel Filter Differential Pressure Switch*

Failure Mode (FM)		Failure Causes	Failure Effect
1	<i>False Failure Indication</i>	Kerusakan pada FFDPS dan konektor tidak terpasang baik	Terjadi kesalahan indikasi yang menimbulkan <i>false alarm</i> pada <i>cockpit</i>
2	<i>Actual Failure Indication</i>	Banyak campuran kotoran yang menyumbat pada <i>fuel filter</i>	Aliran <i>fuel</i> tidak lagi tersaring <i>fuel filter</i> melainkan langsung <i>bypass</i>

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen FFDPS tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decission work* yang ditunjukkan pada Tabel 4.17 berikut ini.

Tabel 4.17 *Decission Worksheet* Untuk FFDPS

FM	Consequence Evaluation				Proactive Task			Default Action			Action Required
					H ₁	H ₁	H ₁				
					S ₁	S ₁	S ₁				
					O ₁	O ₁	O ₁				
	H	S	E	O	N ₁	N ₁	N ₁	H4	H5	S4	
1	Y	N	N	Y	N	N	Y	-	-	-	<i>Discard Task</i>
2	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>On-condition Task</i>

4.4 Evaluasi Biaya *Maintenance*

Berdasarkan pada data-data pendukung yang diambil, untuk penentuan perhitungan biaya kegagalan yang didapatkan dari pihak PT. GMF AeroAsia Cengkareng, yaitu merupakan seluruh komponen-komponen biaya yang muncul akibat terjadinya kegagalan. Berikut ini merupakan analisis perhitungan biaya untuk *preventive maintenance* pada sistem *Engine Fuel and Control*.

a. Biaya Perawatan (C_M)

Biaya perawatan terdiri dari biaya tenaga kerja (upah lembur) dan *treatment cost* misalnya untuk minyak pelumas, dan penggantian komponen kecil seperti sekrup, mur, dan baut. Kegiatan perawatan pencegahan dilakukan diluar jam operasi. Karena perawatan pencegahan dilakukan diluar jam kerja normal maka biaya tenaga perawatan menjadi upah lembur yaitu Rp.1.750.000,00.

b. Biaya Perbaikan (C_R)

Biaya perbaikan timbul akibat adanya komponen komponen dari sistem *Engine Fuel and Control* yang mengalami kerusakan membutuhkan *service* perbaikan atau perbaikan komponen. Biaya perbaikan (C_R) terdiri dari biaya tenaga kerja (C_W), biaya pemulihan atau penggantian komponen (C_C) dan biaya konsekuensi operasional akibat tidak beroperasinya mesin (C_O).

▪ **Biaya Tenaga Kerja (C_W)**

Biaya tenaga kerja merupakan biaya tenaga kerja yang dialokasikan untuk melakukan tindakan *maintenance* selama terjadinya kerusakan pada komponen sistem *Engine Fuel and Control*. Tenaga kerja yang ditugaskan untuk menangani masalah-masalah teknis tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 4.18 Perhitungan Biaya Tenaga Kerja

Jabatan	Jumlah Orang	Gaji Perbulan	Jumlah
<i>Senior Aircraft Maintenance</i>	1	Rp. 10.000.000	Rp. 10.000.000
<i>Junior Aircraft Maintenance</i>	1	Rp. 7.000.000	Rp. 7.000.000
<i>Senior Aircraft Engineer</i>	1	Rp. 10.000.000	Rp. 10.000.000
<i>Junior Aircraft Engineer</i>	1	Rp. 7.000.000	Rp. 7.000.000
<i>Aircraft Technician</i>	6	Rp. 5.000.000	Rp. 30.000.000
Total Biaya Tenaga Kerja :			Rp. 64.000.000

Dalam hal ini diasumsikan setiap satu bulan terdapat 160 jam kerja dengan perincian seperti bawah ini.

- 1 bulan = 4 minggu
- 1 minggu = 5 hari
- 1 hari = 8 jam kerja

Jadi biaya total yang dikeluarkan oleh perusahaan untuk upah tenaga kerja adalah sebesar Rp. 400.000,00 per jam dengan asumsi seluruh tenaga kerja baik *technician* maupun *engineer* dapat ditugaskan untuk melakukan kegiatan dan perawatan.

▪ **Biaya Akibat Konsekuensi Operasional (C_o)**

Biaya konsekuensi operasional merupakan biaya yang timbul akibat terjadinya *downtime* (kerusakan), dalam hal ini merugikan maskapai seperti halnya *delay* karena pesawat tidak dapat beroperasi. Apabila *Engine Fuel and Control* mengalami kegagalan fungsi tidak dapat mendistribusikan maupun mengatur bahan bakar untuk operasional mesin, maka pesawat dikatakan tidak dapat terbang sementara sebelum dilakukan perbaikan.

Dari pihak perusahaan dalam hal ini adalah pihak maskapai, diketahui bahwa setiap kegiatan perbaikan dan perawatan dapat menyebabkan konsekuensi operasional. Konsekuensi tersebut meliputi kerugian maskapai akibat pesawat tidak dapat mengangkut penumpang maupun administrasi di bandar udara, yang mengakibatkan konsekuensi operasional yang harus ditanggung maskapai hingga mencapai Rp. 84.825.000,00 per jam.

▪ **Biaya Perbaikan (C_R)**

Biaya perbaikan ini timbul yang diakibatkan dengan adanya kerusakan dari peralatan sistem *Engine Fuel and Control*, yang membutuhkan biaya penggantian komponen. Perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan hasil biaya perbaikan (C_R) akan menggunakan persamaan (2.36).

Berikut ini adalah contoh perhitungan biaya untuk komponen *fuel pump* yang menghendaki dilakukannya *maintenance* untuk kerusakan akibat tidak dapat mendistribusikan bahan bakar.

Diketahui:

$$C_C = \text{Rp. } 822.150.000$$

$$C_W = \text{Rp. } 400.000 \text{ per jam}$$

$$C_O = \text{Rp. } 84.825.000 \text{ per jam}$$

$$MTTR = 12 \text{ jam}$$

Maka didapatkan perhitungan C_R adalah:

$$C_R = \text{Rp. } 822.150.000 + ((\text{Rp. } 400.000 + \text{Rp. } 84.825.000) \times 12 \text{ jam})$$

$$= \text{Rp. } 822.150.000 + (\text{Rp. } 85.225.000 \times 12 \text{ jam})$$

$$= \text{Rp. } 1.843.650.000$$

Pada Tabel 4.19 berikut ini merupakan rekap hasil perhitungan lengkap pada semua komponen yang dievaluasi.

Tabel 4.19 Rekap Biaya Untuk Perbaikan Komponen

Komponen	C_C (Rp.)	C_W (Rp.)	C_O (Rp.)	MTTR	C_R (Rp.)
<i>Fuel Pump</i>	822.150.000	400.000	84.825.000	12	1.844.850.000
<i>IDG Oil Cooler</i>	204.088.950	400.000	84.825.000	5	630.213.950
<i>Servo Fuel Heater</i>	328.442.400	400.000	84.825.000	5,25	775.873.650
<i>EEC</i>	4.110.750.000	400.000	84.825.000	6,17	4.636.588.250
<i>HMU</i>	528.955.650	400.000	84.825.000	6,33	1.068.429.900
<i>Fuel Flow Transmitter</i>	160.841.250	400.000	84.825.000	5,5	629.578.750
<i>FFDPS</i>	131.165.550	400.000	84.825.000	3,6	437.975.550

c. Penentuan Biaya *Preventive Maintenance* (C_{PM})

Sebelumnya telah dilakukan analisis perhitungan kehandalan masing-masing komponen pada *Engine Fuel and Control*. Pada perhitungan dilakukan sampai rentang waktu 30.000 jam. Rentang waktu tersebut di ambil nilai keandalan pada saat mencapai 70%, 60 % dan 50% untuk tiap komponen. Pada tiap nilai kehandalan tersebut dianalisis untuk menghitung biaya pada saat dilakukan *preventive maintenance*. Perhitungan biaya tersebut menggunakan persamaan (2.37). Berikut contoh perhitungan biaya *preventive maintenance* pada *fuel pump*.

Biaya *Preventive Maintenance* (C_{PM}) pada *fuel pump* ketika nilai kehandalan $\approx 70\%$

$$\begin{aligned}
 C_{PM} &= \frac{[(2.250.000 \times 0,711153) + (1.844.850.000 \times (1 - 0,711153))]}{[(3.500 \times 0,711153)] + [(6.620 \times (1 - 0,711153))]} \\
 &= \frac{[(1.600.100) + (1.844.850.000 \times (0,288))]}{[(2.489) + (1.912)]} \\
 &= \frac{532.916.900}{4.401} \\
 &= \text{Rp. 121.439,4 per jam}
 \end{aligned}$$

Pembiayaan pada *fuel pump* ketika nilai kehandalan $\approx 70\%$ adalah Rp. 121.439,4 x 12 jam = Rp. 1.457.272,8. Pada *preventive maintenance* dengan kehandalan 70% diperoleh sebanyak 8 kali selama 30.000 jam operasi, sehingga total biaya diperoleh sebesar Rp. 11.658.164 atau US\$ 893,34.

Biaya *Preventive Maintenance* (C_{PM}) pada *fuel pump* ketika nilai kehandalan $\approx 60\%$

$$\begin{aligned}
 C_{PM} &= \frac{[(2.250.000 \times 0,63446) + (1.844.850.000 \times (1 - 0,63446))]}{[(4.500 \times 0,63446)] + [(6.620 \times (1 - 0,63446))]} \\
 &= \frac{[(1.427.535) + (1.844.850.000 \times (0,365))]}{[(2.855) + (2.420)]} \\
 &= \frac{674.797.785}{5.275} \\
 &= \text{Rp. 128.113,9 per jam}
 \end{aligned}$$

Pembiayaan pada *fuel pump* ketika nilai kehandalan $\approx 70\%$ adalah Rp. 128.113,9 x 12 jam = Rp. 1.537.366,8. Pada *preventive maintenance* dengan kehandalan 60% diperoleh sebanyak 7 kali selama 30.000 jam operasi, sehingga total biaya diperoleh sebesar Rp. 10.761.572 atau US\$ 824,64.

Biaya *Preventive Maintenance* (C_{PM}) pada *fuel pump* ketika nilai kehandalan $\approx 50\%$

$$\begin{aligned}
 C_{PM} &= \frac{[(2.250.000 \times 0,530885) + (1.844.850.000 \times (1 - 0,530885))]}{[(6.000 \times 0,530885)] + [(6.620 \times (1 - 0,530885))]} \\
 &= \frac{[(1.194.491) + (1.844.850.000 \times (0,469))]}{[(3.185) + (3.105)]} \\
 &= \frac{866.429.141}{6.290}
 \end{aligned}$$

$$= \text{Rp. } 137.762,2 \text{ per jam}$$

Pembiayaan pada *fuel pump* ketika nilai kehandalan $\approx 50\%$ adalah Rp. 137.762,9 x 12 jam = Rp. 1.653.154,8. Pada *preventive maintenance* dengan kehandalan 60% diperoleh sebanyak 6 kali selama 30.000 jam operasi, sehingga total biaya diperoleh sebesar Rp. 9.918.876 atau US\$ 760,06.

Pada Tabel 4.19 berikut ini merupakan rekap hasil perhitungan lengkap pada semua komponen yang dievaluasi.

Tabel 4.20 *Biaya Preventive Maintenance*

Komponen	C_{PM} pada R(t)					
	70%		60%		50%	
	Rupiah (Rp.)	Dollar (US\$)	Rupiah (Rp.)	Dollar (US\$)	Rupiah (Rp.)	Dollar (US\$)
<i>Fuel Pump</i>	11.658.184	893,34	10.761.572	824,64	9.918.876	760,06
<i>IDG Oil Cooler</i>	1.067.034	81,76	915.949	70,18	815.455	62,48
<i>Servo Fuel Heater</i>	1.057.352	81,02	1.041.884	79,83	963.035	73,79
<i>EEC</i>	16.287.251	1.248	12.796.609	980,5	11.167.190	855,7
<i>HMU</i>	4.109.764	314,92	3.495.759	267,87	2.700.898	206,96
<i>Fuel Flow Transmitter</i>	701.148	53,72	584.608	44,79	465.125	35,64
<i>FFDPS</i>	5.602.049	429,27	4.405.278	337,56	3.701.778	283,66

Dalam perhitungan biaya yang telah dilakukan, kurs US\$ yang digunakan adalah berdasarkan kurs Bank Mandiri per tanggal 23 Oktober 2016 pukul 13:30 WIB, dengan harga Rp. 13.050,00. Hasil perhitungan biaya yang telah dilakukan menunjukkan bahwa biaya *preventive maintenance* pada tiap-tiap komponen ternyata berbeda-beda. Jika *preventive maintenance* diterapkan pada nilai kehandalan yang lebih besar, maka biaya yang dibutuhkan juga akan semakin besar. Dalam hal meningkatkan kualitas ini pihak perusahaan harus memastikan nilai kehandalan pada tiap-tiap komponen berada di atas standar yang berlaku.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari seluruh hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

- a. Laju penurunan nilai $R(t)$ hingga mencapai nilai $R(t)$ yang ditetapkan perusahaan yaitu sebelum 0,7. Pada *Fuel Pump* diperoleh 3500 jam operasi. Pada *IDG Oil Cooler* diperoleh 5500 jam operasi. Pada *Servo Fuel Heater* diperoleh 6000 jam operasi. Pada *Electronic Engine Control* diperoleh 3500 jam operasi. Pada *Hydro-mechanical Unit* diperoleh 3000 jam operasi. Pada *Fuel Flow Transmitter* diperoleh 6500 jam operasi. Pada *Fuel Flow Differential Pressure Switch* diperoleh 1000 jam operasi merupakan yang paling buruk.
- b. Berdasarkan dari 7 komponen yang ada dalam penelitian, berikut adalah penjadwalan perawatan yang paling tepat:
 - *Fuel Pump* harus dilakukan *scheduled restoration task* setiap 3500 jam operasi.
 - *IDG Oil Cooler* harus dilakukan *scheduled restoration task* setiap 5500 jam operasi.
 - *Servo Fuel Heater* harus dilakukan *scheduled restoration task* setiap 6000 jam operasi.
 - *Electronic Engine Control* harus dilakukan *scheduled on-condition task* setiap 3500 jam operasi.
 - *Hydro-mechanical Unit* harus dilakukan *scheduled restoration task* setiap 3000 jam operasi.
 - *Fuel Flow Transmitter* harus dilakukan *scheduled on-condition task* setiap 6500 jam operasi.
 - *Fuel Flow Differential Pressure Switch* harus dilakukan *scheduled on-condition task* setiap 1000 jam operasi.
- c. Pada analisis pembiayaan *preventive maintenance* yang dilakukan pada saat nilai kehandalan mencapai 70%, 60% dan 50% berturut-turut diperoleh pada masing-masing komponen. Pada *Fuel Pump* diperoleh US\$ 893,34 ; US\$ 824,64 dan US\$

760,06. Pada *IDG Oil Cooler* diperoleh US\$ 81,76 ; US\$ 70,18 dan US\$ 62,48. Pada *Servo Fuel Heater* diperoleh US\$ 81,02 ; US\$ 79,83 dan US\$ 73,79. Pada *Electronic Engine Control* diperoleh US\$ 1.248,06 ; US\$ 980,58 dan US\$ 855,72. Pada *Hydro-mechanical Unit* diperoleh US\$ 314,92 ; US\$ 267,87 dan US\$ 206,96. Pada *Fuel Flow Transmitter* diperoleh US\$ 53,72 ; US\$ 44,79 dan 35,64. Pada *Fuel Flow Differential Pressure Switch* diperoleh US\$ 429,27 ; US\$ 337,56 dan 283,66.

5.2 Saran

Adapun saran dari penulis berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut:

- a. Pada pengolahan data kuantitatif, variasi penambahan jam operasi bisa diimplementasikan dengan jarak yang lebih sempit, sehingga nilai kehandalan pada jam operasi tertentu dari tiap komponen dapat teridentifikasi lebih spesifik.
- b. Pada pihak perusahaan, pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah kegagalan pada sistem sebaiknya dilakukan tidak sampai melebihi interval waktu yang telah ditetapkan, sehingga efek dari kerusakan yang terjadi dapat dikurangi atau sampai dengan diminimalkan.

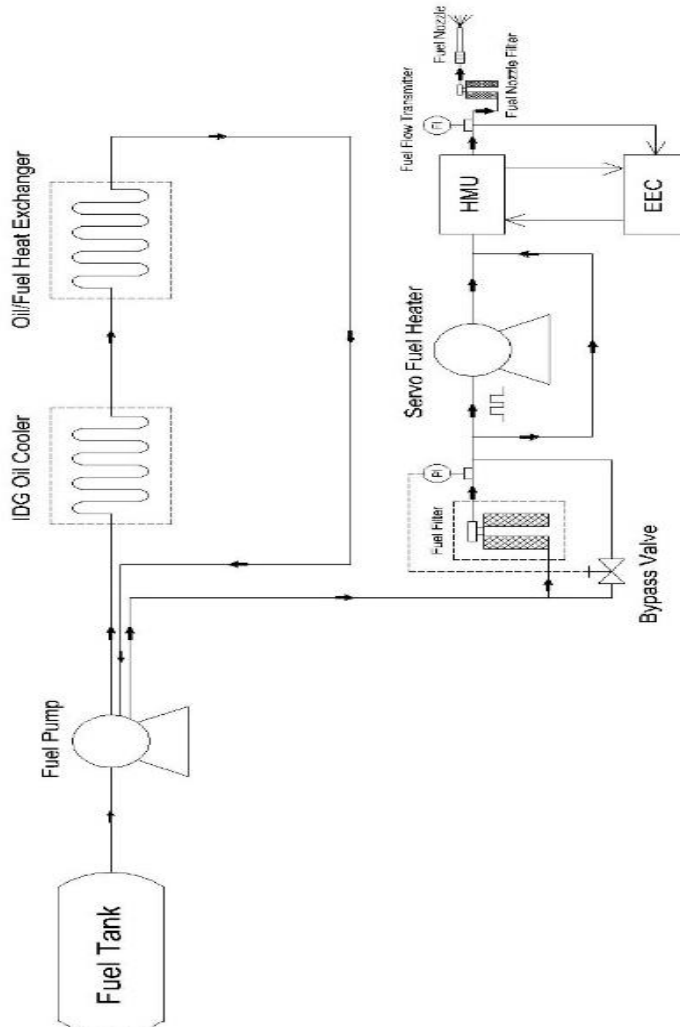
DAFTAR PUSTAKA

- Boeing 737-800 NG *Aircraft Maintenance Manual* PT. GMF AeroAsia Cengkareng : Departemen *Reliability and Engineering Service*.
- Dhillon, B.S. (2005). *Reliability, Quality and Safety for Engineers*. Florida, USA: CRC Press.
- Ebeling, Charles E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: The Mc.Graw-Hill Companies.
- Fithri, P. (2010). Optimasi *Preventive Maintenance* dan Penjadwalan Penggantian Komponen Mesin Kompresor Dengan Menggunakan *Mixed Integer Non Linier Programming* Dari Kamran.
- Jardine, Andrew K.S. (2006). *Optimizing Maintenance and Replacement Decisions*. University of Toronto, Canada.
- Li Jun, Xu Huibin. (2012). *Reliability Analysis of Aircraft Maintenance Based on FMECA Method*. Department of Aviation Control and Engineering, Aviation University of Airforce, Changchun Jilin Province, China.
- Moubray, John. (1997). *Reliability Centered Maintenance II*, 2nd ed. North Carolina, USA: Industrial Press Inc.
- Musfarid, Arief. (2011). Evaluasi Keandalan Sistem Mesin Kontrol Bahan Bakar Pada Pesawat Boeing 737 Classic Garuda Indonesia.
- Priyatna., D. (2000). Keandalan dan Perawatan.
- Sudarta. (2008). Evaluasi *Reliability* Pada Sistem *Crusher* Untuk Memperbaiki Kinerja *Maintenance* Di PT. Semen Gresik.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Berikut merupakan *Simple P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) Engine Fuel and Control CFM 56-7*.



Gambar A.1 *P&ID Engine Fuel and Control CFM 56-7*

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

Berikut merupakan data *maintenance record* pada sistem *Engine Fuel and Control* CFM 56-7.

A. *Fuel Pump*

Tabel B.1 *Maintenance Record Fuel Pump*

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	1/11/2012	1/11/2012	10	0
2	7/23/2012	7/23/2012	12	4656
3	8/8/2014	8/8/2014	14	17904
4	10/15/2014	10/15/2014	10	1632
5	4/18/2015	4/18/2015	12	4440
6	7/23/2016	7/23/2016	14	11088
JUMLAH			72	39720
RATA-RATA			12	6620

B. *IDG Oil Cooler*

Tabel B.2 *Maintenance Record IDG Oil Cooler*

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	7/23/2013	7/23/2013	7	0
2	2/18/2014	2/18/2014	4	5040
3	11/11/2015	11/11/2015	5	15144
4	8/8/2016	8/8/2016	4	6504
JUMLAH			20	26688
RATA-RATA			5	6672

C. Servo Fuel Heater

Tabel B.3 *Maintenance Record Servo Fuel Heater*

No.	Start Date	Completion Date	TTR (Hours)	TTF (Hours)
1	3/19/2013	3/19/2013	3	0
2	10/29/2013	10/29/2013	4	5376
3	8/31/2015	8/31/2015	8	16104
4	7/23/2016	7/23/2016	6	7848
JUMLAH			21	29328
RATA-RATA			5,25	7332

D. Electronic Engine Control (EEC)

Tabel B.4 *Maintenance Record Electronic Engine Control (EEC)*

No.	Start Date	Completion Date	TTR (Hours)	TTF (Hours)
1	3/17/2012	3/17/2012	4	0
2	6/9/2012	6/9/2012	7	2016
3	8/17/2012	8/17/2012	6	1656
4	8/8/2014	8/8/2014	5	17304
5	11/29/2015	11/29/2015	8	11472
6	2/14/2016	2/14/2016	7	1848
JUMLAH			37	34296
RATA-RATA			6,167	5716

E. *Hydro-mechanical Unit (HMU)*

Tabel B.5 *Maintenance Record Hydro-mechanical Unit (HMU)*

No.	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	4/18/2012	4/18/2012	9	0
2	3/20/2013	3/20/2013	7	8064
3	6/9/2013	6/9/2013	4	1944
4	7/23/2014	7/23/2014	5	9816
5	5/11/2016	5/11/2016	9	15792
6	8/8/2016	8/8/2016	4	2136
JUMLAH			38	37752
RATA-RATA			6,33	6292

F. *Fuel Flow Transmitter*

Tabel B.6 *Maintenance Record Fuel Flow Transmitter*

No.	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	2/14/2012	2/14/2012	4	0
2	4/20/2012	4/20/2012	7	1584
3	1/11/2016	1/11/2016	6	32664
4	7/23/2016	7/23/2016	5	4656
JUMLAH			22	38904
RATA-RATA			5,5	9726

G. Fuel Flow Differential Pressure Switch (FFDPS)

Tabel B.7 *Maintenance Record FFDPS*

<i>No.</i>	<i>Start Date</i>	<i>Completion Date</i>	<i>TTR (Hours)</i>	<i>TTF (Hours)</i>
1	1/8/2013	1/8/2013	2	0
2	6/21/2013	6/21/2013	2	3936
3	7/23/2013	7/23/2013	3	768
4	8/8/2014	8/8/2014	8	9144
5	8/17/2014	8/17/2014	1	216
6	4/18/2015	4/18/2015	6	5856
7	5/11/2015	5/11/2015	1	552
8	1/11/2016	1/11/2016	8	5880
9	2/14/2016	2/14/2016	2	816
10	8/8/2016	8/8/2016	3	4224
JUMLAH			36	31392
RATA-RATA			3,6	3139,2

LAMPIRAN C

Tabel C.1 Hasil Perhitungan $\{\lambda(t)\}$, $\{R(t)\}$, $\{A(t)\}$ dan $\{M(t)\}$
Pada *Fuel Pump*

t (jam)	$\lambda(t)$	R(t)	A(t)	M(t)
0,001	1.185E-05	1	1	1.56E-10
500	8.374E-05	0.9642168	0.9989962	1
1000	9.285E-05	0.9223712	0.9988871	1
1500	9.863E-05	0.8791851	0.9988178	1
2000	0.0001029	0.8359397	0.9987661	1
2500	0.0001064	0.7932861	0.9987245	1
3000	0.0001094	0.7516097	0.9986894	1
3500	0.0001119	0.711153	0.998659	1
4000	0.0001142	0.6720708	0.9986321	1
4500	0.0001162	0.6344603	0.9986079	1
5000	0.000118	0.5983779	0.9985859	1
5500	0.0001197	0.5638509	0.9985657	1
6000	0.0001213	0.5308852	0.998547	1
6500	0.0001227	0.4994703	0.9985296	1
7000	0.0001241	0.4695837	0.9985133	1
7500	0.0001254	0.4411939	0.998498	1
8000	0.0001266	0.4142623	0.9984835	1
8500	0.0001277	0.3887454	0.9984697	1
9000	0.0001288	0.364596	0.9984567	1
9500	0.0001299	0.3417644	0.9984442	1
10000	0.0001308	0.3201995	0.9984323	1
10500	0.0001318	0.2998491	0.9984208	1
11000	0.0001327	0.2806607	0.9984099	1
11500	0.0001336	0.2625822	0.9983993	1
12000	0.0001345	0.2455619	0.9983892	1
12500	0.0001353	0.229549	0.9983794	1
13000	0.0001361	0.2144937	0.9983699	1
13500	0.0001368	0.2003478	0.9983607	1
14000	0.0001376	0.1870641	0.9983518	1

Tabel C.1 Lanjutan

t (jam)	$\lambda(t)$	R(t)	A(t)	M(t)
14500	0.0001383	0.1745972	0.9983432	1
15000	0.000139	0.1629033	0.9983348	1
15500	0.0001397	0.1519402	0.9983267	1
16000	0.0001403	0.1416672	0.9983187	1
16500	0.000141	0.1320457	0.998311	1
17000	0.0001416	0.1230385	0.9983035	1
17500	0.0001422	0.1146101	0.9982962	1
18000	0.0001428	0.1067268	0.998289	1
18500	0.0001434	0.0993563	0.998282	1
19000	0.000144	0.0924681	0.9982752	1
19500	0.0001445	0.0860332	0.9982685	1
20000	0.0001451	0.080024	0.998262	1
20500	0.0001456	0.0744144	0.9982556	1
21000	0.0001461	0.0691797	0.9982493	1
21500	0.0001467	0.0642966	0.9982432	1
22000	0.0001472	0.059743	0.9982372	1
22500	0.0001477	0.055498	0.9982313	1
23000	0.0001481	0.0515421	0.9982255	1
23500	0.0001486	0.0478566	0.9982198	1
24000	0.0001491	0.0444243	0.9982142	1
24500	0.0001495	0.0412285	0.9982087	1
25000	0.00015	0.038254	0.9982033	1
25500	0.0001504	0.0354861	0.998198	1
26000	0.0001509	0.0329112	0.9981928	1
26500	0.0001513	0.0305166	0.9981877	1
27000	0.0001517	0.0282902	0.9981827	1
27500	0.0001521	0.0262208	0.9981777	1
28000	0.0001525	0.0242977	0.9981728	1
28500	0.0001529	0.0225111	0.998168	1
29000	0.0001533	0.0208517	0.9981632	1
29500	0.0001537	0.0193108	0.9981586	1
30000	0.0001541	0.0178803	0.998154	1

Tabel C.2 Hasil Perhitungan $\{\lambda(t)\}$, $\{R(t)\}$, $\{A(t)\}$ dan $\{M(t)\}$
Pada *IDG Oil Cooler*

t (jam)	$\lambda(t)$	R(t)	A(t)	M(t)
0,001	4.043E-10	1	1	0.0002
500	1.56E-05	0.9956862	0.999922	1
1000	2.726E-05	0.9850093	0.9998637	1
1500	3.778E-05	0.9690895	0.9998111	1
2000	4.762E-05	0.9485971	0.999762	1
2500	5.699E-05	0.924095	0.9997151	1
3000	6.6E-05	0.8961032	0.9996701	1
3500	7.471E-05	0.8651196	0.9996266	1
4000	8.319E-05	0.8316264	0.9995842	1
4500	9.146E-05	0.7960907	0.9995429	1
5000	9.955E-05	0.7589628	0.9995025	1
5500	0.0001075	0.7206731	0.9994628	1
6000	0.0001153	0.6816291	0.9994239	1
6500	0.000123	0.6422124	0.9993856	1
7000	0.0001305	0.6027763	0.9993478	1
7500	0.000138	0.5636432	0.9993106	1
8000	0.0001453	0.5251033	0.9992739	1
8500	0.0001526	0.4874139	0.9992376	1
9000	0.0001598	0.4507984	0.9992018	1
9500	0.0001669	0.4154468	0.9991663	1
10000	0.0001739	0.3815167	0.9991312	1
10500	0.0001809	0.3491339	0.9990964	1
11000	0.0001878	0.3183941	0.999062	1
11500	0.0001946	0.2893653	0.9990279	1
12000	0.0002014	0.2620892	0.998994	1
12500	0.0002081	0.2365839	0.9989605	1
13000	0.0002148	0.2128465	0.9989272	1
13500	0.0002214	0.1908551	0.9988941	1
14000	0.000228	0.1705721	0.9988613	1

Tabel C.2 Lanjutan

t (jam)	$\lambda(t)$	R(t)	A(t)	M(t)
14500	0.0002345	0.1519459	0.9988287	1
15000	0.000241	0.1349139	0.9987964	1
15500	0.0002475	0.1194045	0.9987642	1
16000	0.0002539	0.105339	0.9987323	1
16500	0.0002602	0.0926342	0.9987005	1
17000	0.0002666	0.0812036	0.998669	1
17500	0.0002728	0.0709593	0.9986376	1
18000	0.0002791	0.0618132	0.9986064	1
18500	0.0002853	0.0536782	0.9985754	1
19000	0.0002915	0.0464693	0.9985445	1
19500	0.0002977	0.0401047	0.9985138	1
20000	0.0003038	0.0345056	0.9984833	1
20500	0.0003099	0.0295976	0.9984529	1
21000	0.000316	0.0253106	0.9984226	1
21500	0.000322	0.0215791	0.9983925	1
22000	0.000328	0.0183424	0.9983626	1
22500	0.000334	0.0155445	0.9983327	1
23000	0.00034	0.013134	0.998303	1
23500	0.0003459	0.0110644	0.9982734	1
24000	0.0003518	0.0092934	0.998244	1
24500	0.0003577	0.0077828	0.9982147	1
25000	0.0003636	0.0064987	0.9981854	1
25500	0.0003694	0.0054106	0.9981564	1
26000	0.0003752	0.0044915	0.9981274	1
26500	0.000381	0.0037178	0.9980985	1
27000	0.0003868	0.0030684	0.9980697	1
27500	0.0003926	0.0025252	0.9980411	1
28000	0.0003983	0.0020722	0.9980125	1
28500	0.000404	0.0016956	0.9979841	1
29000	0.0004097	0.0013835	0.9979557	1
29500	0.0004154	0.0011256	0.9979274	1
30000	0.000421	0.0009132	0.9978993	1

Tabel C.3 Hasil Perhitungan $\{\lambda(t)\}$, $\{R(t)\}$, $\{A(t)\}$ dan $\{M(t)\}$
Pada *Servo Fuel Heater*

t (jam)	$\lambda(t)$	$R(t)$	$A(t)$	$M(t)$
0,001	4.207E-10	1	1	3.218E-63
500	1.337E-05	0.9962725	0.9999298	1
1000	2.312E-05	0.9871687	0.9998787	1
1500	3.184E-05	0.9736675	0.9998328	1
2000	3.997E-05	0.956323	0.9997902	1
2500	4.768E-05	0.9355824	0.9997498	1
3000	5.506E-05	0.9118479	0.999711	1
3500	6.219E-05	0.8854979	0.9996736	1
4000	6.911E-05	0.8568955	0.9996373	1
4500	7.585E-05	0.8263913	0.9996019	1
5000	8.243E-05	0.7943236	0.9995674	1
5500	8.888E-05	0.7610176	0.9995336	1
6000	9.521E-05	0.7267845	0.9995004	1
6500	0.0001014	0.6919191	0.9994678	1
7000	0.0001075	0.6566993	0.9994358	1
7500	0.0001136	0.6213839	0.9994042	1
8000	0.0001195	0.5862118	0.999373	1
8500	0.0001254	0.5514013	0.9993423	1
9000	0.0001312	0.5171493	0.9993119	1
9500	0.0001369	0.4836309	0.9992819	1
10000	0.0001425	0.4509997	0.9992522	1
10500	0.0001481	0.4193879	0.9992229	1
11000	0.0001537	0.3889066	0.9991938	1
11500	0.0001592	0.3596469	0.999165	1
12000	0.0001646	0.3316806	0.9991365	1
12500	0.00017	0.3050613	0.9991082	1
13000	0.0001754	0.2798257	0.9990802	1
13500	0.0001807	0.2559947	0.9990524	1
14000	0.0001859	0.233575	0.9990248	1

Tabel C.3 Lanjutan

t (jam)	$\lambda(t)$	R(t)	A(t)	M(t)
14500	0.0001912	0.2125605	0.9989974	1
15000	0.0001964	0.1929336	0.9989702	1
15500	0.0002015	0.1746669	0.9989432	1
16000	0.0002066	0.1577241	0.9989164	1
16500	0.0002117	0.142062	0.9988898	1
17000	0.0002168	0.1276313	0.9988633	1
17500	0.0002218	0.114378	0.998837	1
18000	0.0002268	0.1022448	0.9988109	1
18500	0.0002317	0.0911715	0.9987849	1
19000	0.0002367	0.0810966	0.998759	1
19500	0.0002416	0.0719577	0.9987333	1
20000	0.0002465	0.0636927	0.9987078	1
20500	0.0002513	0.05624	0.9986824	1
21000	0.0002561	0.0495392	0.9986571	1
21500	0.0002609	0.0435319	0.9986319	1
22000	0.0002657	0.0381614	0.9986069	1
22500	0.0002705	0.0333737	0.998582	1
23000	0.0002752	0.0291175	0.9985572	1
23500	0.0002799	0.0253441	0.9985325	1
24000	0.0002846	0.0220079	0.9985079	1
24500	0.0002893	0.0190661	0.9984834	1
25000	0.000294	0.0164791	0.9984591	1
25500	0.0002986	0.0142101	0.9984348	1
26000	0.0003032	0.0122252	0.9984106	1
26500	0.0003078	0.0104933	0.9983866	1
27000	0.0003124	0.0089862	0.9983626	1
27500	0.000317	0.0076779	0.9983388	1
28000	0.0003215	0.0065452	0.998315	1
28500	0.000326	0.005567	0.9982913	1
29000	0.0003305	0.0047243	0.9982677	1
29500	0.000335	0.0040001	0.9982442	1
30000	0.0003395	0.0033794	0.9982208	1

Tabel C.4 Hasil Perhitungan $\{\lambda(t)\}$, $\{R(t)\}$, $\{A(t)\}$ dan $\{M(t)\}$
 Pada *Electronic Engine Control (EEC)*

t (jam)	$\lambda(t)$	$R(t)$	$A(t)$	$M(t)$
0,001	1.00E-04	1	1	3.71E-93
500	1.00E-04	0.951229	0.999384	1
1000	1.00E-04	0.904837	0.999384	1
1500	1.00E-04	0.860708	0.999384	1
2000	1.00E-04	0.818731	0.999384	1
2500	1.00E-04	0.778801	0.999384	1
3000	1.00E-04	0.740818	0.999384	1
3500	1.00E-04	0.704688	0.999384	1
4000	1.00E-04	0.67032	0.999384	1
4500	1.00E-04	0.637628	0.999384	1
5000	1.00E-04	0.606531	0.999384	1
5500	1.00E-04	0.57695	0.999384	1
6000	1.00E-04	0.548812	0.999384	1
6500	1.00E-04	0.522046	0.999384	1
7000	1.00E-04	0.496585	0.999384	1
7500	1.00E-04	0.472367	0.999384	1
8000	1.00E-04	0.449329	0.999384	1
8500	1.00E-04	0.427415	0.999384	1
9000	1.00E-04	0.40657	0.999384	1
9500	1.00E-04	0.386741	0.999384	1
10000	1.00E-04	0.367879	0.999384	1
10500	1.00E-04	0.349938	0.999384	1
11000	1.00E-04	0.332871	0.999384	1
11500	1.00E-04	0.316637	0.999384	1
12000	1.00E-04	0.301194	0.999384	1
12500	1.00E-04	0.286505	0.999384	1
13000	1.00E-04	0.272532	0.999384	1
13500	1.00E-04	0.25924	0.999384	1
14000	1.00E-04	0.246597	0.999384	1

Tabel C.4 Lanjutan

t (jam)	$\lambda(t)$	R(t)	A(t)	M(t)
14500	1.00E-04	0.23457	0.999384	1
15000	1.00E-04	0.22313	0.999384	1
15500	1.00E-04	0.212248	0.999384	1
16000	1.00E-04	0.201897	0.999384	1
16500	1.00E-04	0.19205	0.999384	1
17000	1.00E-04	0.182684	0.999384	1
17500	1.00E-04	0.173774	0.999384	1
18000	1.00E-04	0.165299	0.999384	1
18500	1.00E-04	0.157237	0.999384	1
19000	1.00E-04	0.149569	0.999384	1
19500	1.00E-04	0.142274	0.999384	1
20000	1.00E-04	0.135335	0.999384	1
20500	1.00E-04	0.128735	0.999384	1
21000	1.00E-04	0.122456	0.999384	1
21500	1.00E-04	0.116484	0.999384	1
22000	1.00E-04	0.110803	0.999384	1
22500	1.00E-04	0.105399	0.999384	1
23000	1.00E-04	0.100259	0.999384	1
23500	1.00E-04	0.095369	0.999384	1
24000	1.00E-04	0.090718	0.999384	1
24500	1.00E-04	0.086294	0.999384	1
25000	1.00E-04	0.082085	0.999384	1
25500	1.00E-04	0.078082	0.999384	1
26000	1.00E-04	0.074274	0.999384	1
26500	1.00E-04	0.070651	0.999384	1
27000	1.00E-04	0.067206	0.999384	1
27500	1.00E-04	0.063928	0.999384	1
28000	1.00E-04	0.06081	0.999384	1
28500	1.00E-04	0.057844	0.999384	1
29000	1.00E-04	0.055023	0.999384	1
29500	1.00E-04	0.05234	0.999384	1
30000	1.00E-04	0.049787	0.999384	1

Tabel C.5 Hasil Perhitungan $\{\lambda(t)\}$, $\{R(t)\}$, $\{A(t)\}$ dan $\{M(t)\}$
 Pada *Hydro-mechanical Unit* (HMU)

t (jam)	$\lambda(t)$	$R(t)$	$A(t)$	$M(t)$
0,001	9.317E-06	1	1	3.06E-103
500	8.604E-05	0.9638812	0.9994554	1
1000	9.676E-05	0.9205895	0.9993876	1
1500	0.0001036	0.8755212	0.9993441	1
2000	0.0001088	0.8301909	0.9993113	1
2500	0.000113	0.7853811	0.9992848	1
3000	0.0001165	0.7415617	0.9992624	1
3500	0.0001196	0.699032	0.9992429	1
4000	0.0001224	0.6579858	0.9992256	1
4500	0.0001248	0.6185463	0.99921	1
5000	0.0001271	0.580787	0.9991958	1
5500	0.0001292	0.5447453	0.9991827	1
6000	0.0001311	0.5104318	0.9991706	1
6500	0.0001329	0.4778371	0.9991593	1
7000	0.0001345	0.4469364	0.9991487	1
7500	0.0001361	0.4176937	0.9991387	1
8000	0.0001376	0.3900642	0.9991292	1
8500	0.000139	0.3639969	0.9991202	1
9000	0.0001404	0.3394363	0.9991117	1
9500	0.0001417	0.3163239	0.9991035	1
10000	0.0001429	0.294599	0.9990957	1
10500	0.0001441	0.2742	0.9990882	1
11000	0.0001452	0.2550653	0.999081	1
11500	0.0001463	0.2371331	0.999074	1
12000	0.0001474	0.2203429	0.9990673	1
12500	0.0001484	0.2046349	0.9990609	1
13000	0.0001494	0.1899513	0.9990546	1
13500	0.0001504	0.1762354	0.9990486	1
14000	0.0001513	0.1634328	0.9990427	1

Tabel C.5 Lanjutan

t (jam)	$\lambda(t)$	R(t)	A(t)	M(t)
14500	0.0001522	0.1514909	0.999037	1
15000	0.0001531	0.1403591	0.9990314	1
15500	0.0001539	0.1299891	0.9990261	1
16000	0.0001548	0.1203347	0.9990208	1
16500	0.0001556	0.1113517	0.9990157	1
17000	0.0001564	0.1029981	0.9990107	1
17500	0.0001571	0.0952341	0.9990058	1
18000	0.0001579	0.0880218	0.9990011	1
18500	0.0001586	0.0813256	0.9989964	1
19000	0.0001593	0.0751114	0.9989919	1
19500	0.00016	0.0693475	0.9989875	1
20000	0.0001607	0.0640036	0.9989831	1
20500	0.0001614	0.0590515	0.9989789	1
21000	0.0001621	0.0544643	0.9989747	1
21500	0.0001627	0.050217	0.9989706	1
22000	0.0001633	0.0462862	0.9989666	1
22500	0.000164	0.0426496	0.9989626	1
23000	0.0001646	0.0392866	0.9989588	1
23500	0.0001652	0.0361778	0.998955	1
24000	0.0001658	0.0333051	0.9989513	1
24500	0.0001663	0.0306515	0.9989476	1
25000	0.0001669	0.0282013	0.998944	1
25500	0.0001675	0.0259395	0.9989404	1
26000	0.000168	0.0238526	0.998937	1
26500	0.0001686	0.0219275	0.9989335	1
27000	0.0001691	0.0201524	0.9989301	1
27500	0.0001696	0.0185161	0.9989268	1
28000	0.0001702	0.0170082	0.9989235	1
28500	0.0001707	0.015619	0.9989203	1
29000	0.0001712	0.0143397	0.9989171	1
29500	0.0001717	0.0131619	0.998914	1
30000	0.0001722	0.0120778	0.9989109	1

Tabel C.6 Hasil Perhitungan $\{\lambda(t)\}$, $\{R(t)\}$, $\{A(t)\}$ dan $\{M(t)\}$
 Pada *Fuel Flow Transmitter*

t (jam)	$\lambda(t)$	$R(t)$	$A(t)$	$M(t)$
0,001	5.49E-05	1	1	3.057E-63
500	5.49E-05	0.972946	0.999698	1
1000	5.49E-05	0.946623	0.999698	1
1500	5.49E-05	0.921013	0.999698	1
2000	5.49E-05	0.896096	0.999698	1
2500	5.49E-05	0.871853	0.999698	1
3000	5.49E-05	0.848265	0.999698	1
3500	5.49E-05	0.825316	0.999698	1
4000	5.49E-05	0.802988	0.999698	1
4500	5.49E-05	0.781263	0.999698	1
5000	5.49E-05	0.760127	0.999698	1
5500	5.49E-05	0.739562	0.999698	1
6000	5.49E-05	0.719554	0.999698	1
6500	5.49E-05	0.700087	0.999698	1
7000	5.49E-05	0.681146	0.999698	1
7500	5.49E-05	0.662718	0.999698	1
8000	5.49E-05	0.644789	0.999698	1
8500	5.49E-05	0.627345	0.999698	1
9000	5.49E-05	0.610372	0.999698	1
9500	5.49E-05	0.593859	0.999698	1
10000	5.49E-05	0.577793	0.999698	1
10500	5.49E-05	0.562161	0.999698	1
11000	5.49E-05	0.546952	0.999698	1
11500	5.49E-05	0.532155	0.999698	1
12000	5.49E-05	0.517758	0.999698	1
12500	5.49E-05	0.50375	0.999698	1
13000	5.49E-05	0.490121	0.999698	1
13500	5.49E-05	0.476862	0.999698	1
14000	5.49E-05	0.46396	0.999698	1

Tabel C.6 Lanjutan

t (jam)	$\lambda(t)$	R(t)	A(t)	M(t)
14500	5.49E-05	0.451408	0.999698	1
15000	5.49E-05	0.439196	0.999698	1
15500	5.49E-05	0.427314	0.999698	1
16000	5.49E-05	0.415753	0.999698	1
16500	5.49E-05	0.404505	0.999698	1
17000	5.49E-05	0.393561	0.999698	1
17500	5.49E-05	0.382914	0.999698	1
18000	5.49E-05	0.372554	0.999698	1
18500	5.49E-05	0.362475	0.999698	1
19000	5.49E-05	0.352669	0.999698	1
19500	5.49E-05	0.343128	0.999698	1
20000	5.49E-05	0.333844	0.999698	1
20500	5.49E-05	0.324813	0.999698	1
21000	5.49E-05	0.316025	0.999698	1
21500	5.49E-05	0.307475	0.999698	1
22000	5.49E-05	0.299157	0.999698	1
22500	5.49E-05	0.291063	0.999698	1
23000	5.49E-05	0.283189	0.999698	1
23500	5.49E-05	0.275527	0.999698	1
24000	5.49E-05	0.268073	0.999698	1
24500	5.49E-05	0.26082	0.999698	1
25000	5.49E-05	0.253764	0.999698	1
25500	5.49E-05	0.246899	0.999698	1
26000	5.49E-05	0.240219	0.999698	1
26500	5.49E-05	0.23372	0.999698	1
27000	5.49E-05	0.227397	0.999698	1
27500	5.49E-05	0.221245	0.999698	1
28000	5.49E-05	0.215259	0.999698	1
28500	5.49E-05	0.209436	0.999698	1
29000	5.49E-05	0.203769	0.999698	1
29500	5.49E-05	0.198257	0.999698	1
30000	5.49E-05	0.192893	0.999698	1

Tabel C.7 Hasil Perhitungan $\{\lambda(t)\}$, $\{R(t)\}$, $\{A(t)\}$ dan $\{M(t)\}$
 Pada *Fuel Flow Flow Differential Pressure Switch*

t (jam)	$\lambda(t)$	$R(t)$	$A(t)$	$M(t)$
0,001	3.00E-04	1	1	2.281E-23
500	3.00E-04	0.860708	0.998921	1
1000	3.00E-04	0.740818	0.998921	1
1500	3.00E-04	0.637628	0.998921	1
2000	3.00E-04	0.548812	0.998921	1
2500	3.00E-04	0.472367	0.998921	1
3000	3.00E-04	0.40657	0.998921	1
3500	3.00E-04	0.349938	0.998921	1
4000	3.00E-04	0.301194	0.998921	1
4500	3.00E-04	0.25924	0.998921	1
5000	3.00E-04	0.22313	0.998921	1
5500	3.00E-04	0.19205	0.998921	1
6000	3.00E-04	0.165299	0.998921	1
6500	3.00E-04	0.142274	0.998921	1
7000	3.00E-04	0.122456	0.998921	1
7500	3.00E-04	0.105399	0.998921	1
8000	3.00E-04	0.090718	0.998921	1
8500	3.00E-04	0.078082	0.998921	1
9000	3.00E-04	0.067206	0.998921	1
9500	3.00E-04	0.057844	0.998921	1
10000	3.00E-04	0.049787	0.998921	1
10500	3.00E-04	0.042852	0.998921	1
11000	3.00E-04	0.036883	0.998921	1
11500	3.00E-04	0.031746	0.998921	1
12000	3.00E-04	0.027324	0.998921	1
12500	3.00E-04	0.023518	0.998921	1
13000	3.00E-04	0.020242	0.998921	1
13500	3.00E-04	0.017422	0.998921	1
14000	3.00E-04	0.014996	0.998921	1

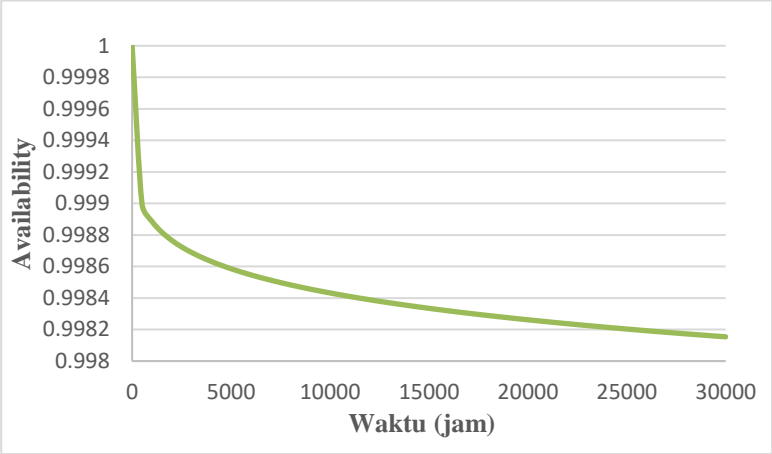
Tabel C.7 Lanjutan

t (jam)	$\lambda(t)$	R(t)	A(t)	M(t)
14500	3.00E-04	0.012907	0.998921	1
15000	3.00E-04	0.011109	0.998921	1
15500	3.00E-04	0.009562	0.998921	1
16000	3.00E-04	0.00823	0.998921	1
16500	3.00E-04	0.007083	0.998921	1
17000	3.00E-04	0.006097	0.998921	1
17500	3.00E-04	0.005248	0.998921	1
18000	3.00E-04	0.004517	0.998921	1
18500	3.00E-04	0.003887	0.998921	1
19000	3.00E-04	0.003346	0.998921	1
19500	3.00E-04	0.00288	0.998921	1
20000	3.00E-04	0.002479	0.998921	1
20500	3.00E-04	0.002133	0.998921	1
21000	3.00E-04	0.001836	0.998921	1
21500	3.00E-04	0.001581	0.998921	1
22000	3.00E-04	0.00136	0.998921	1
22500	3.00E-04	0.001171	0.998921	1
23000	3.00E-04	0.001008	0.998921	1
23500	3.00E-04	0.000867	0.998921	1
24000	3.00E-04	0.000747	0.998921	1
24500	3.00E-04	0.000643	0.998921	1
25000	3.00E-04	0.000553	0.998921	1
25500	3.00E-04	0.000476	0.998921	1
26000	3.00E-04	0.00041	0.998921	1
26500	3.00E-04	0.000353	0.998921	1
27000	3.00E-04	0.000304	0.998921	1
27500	3.00E-04	0.000261	0.998921	1
28000	3.00E-04	0.000225	0.998921	1
28500	3.00E-04	0.000194	0.998921	1
29000	3.00E-04	0.000167	0.998921	1
29500	3.00E-04	0.000143	0.998921	1
30000	3.00E-04	0.000123	0.998921	1

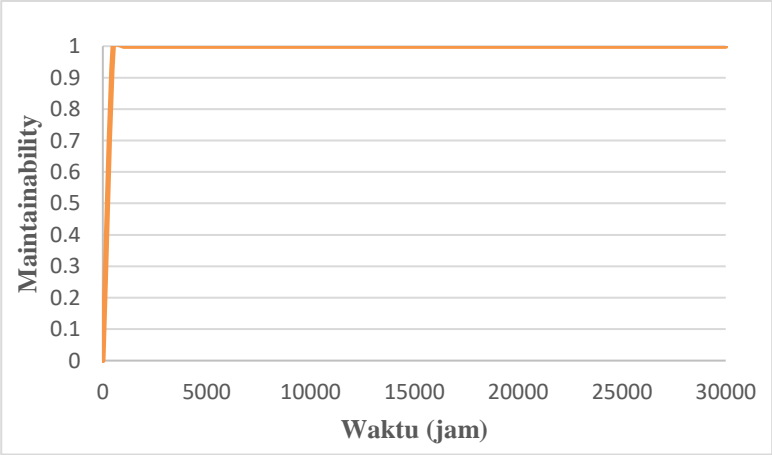
LAMPIRAN D

A. Fuel Pump

Pada 3000 jam operasi, didapatkan nilai *availability* $A(t)$ dari *Fuel Pump* sebesar 0,998689.

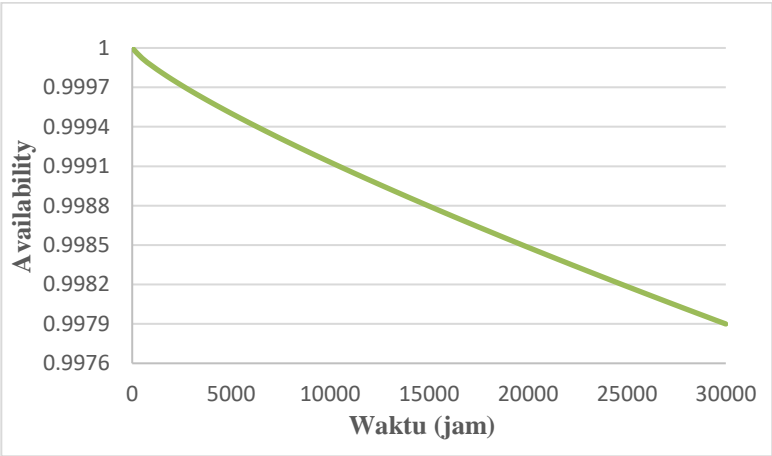


Sedangkan, nilai $M(t)$ untuk *Fuel Pump* pada 3000 jam operasi sebesar 1.

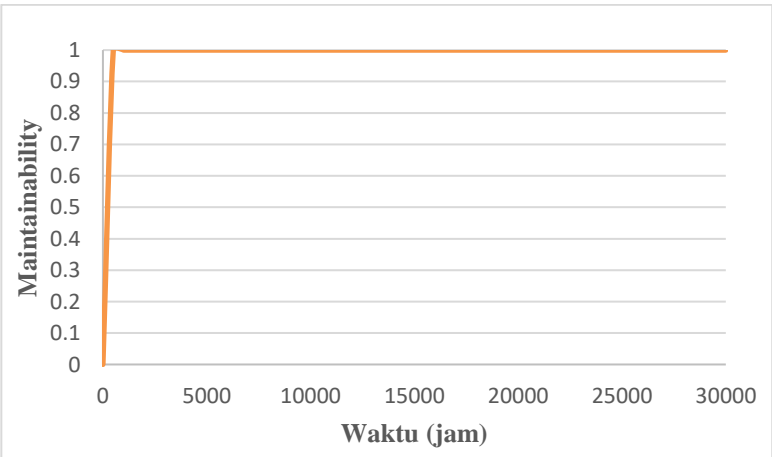


B. IDG Oil Cooler

Pada 5500 jam operasi, didapatkan nilai *availability* $A(t)$ dari *IDG Oil Cooler* sebesar 0,999462.

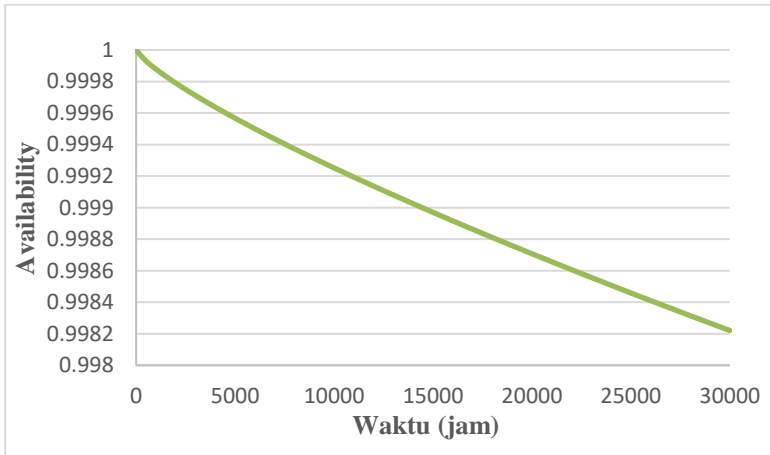


Sedangkan, nilai $M(t)$ untuk *IDG Oil Cooler* pada 5500 jam operasi sebesar 1.

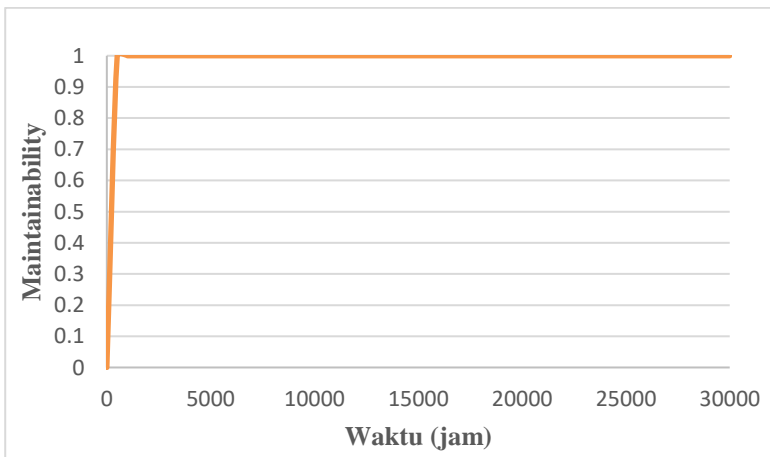


C. *Servo Fuel Heater*

Pada 6000 jam operasi, didapatkan nilai *availability* $A(t)$ dari *Servo Fuel Heater* sebesar 0,999500.

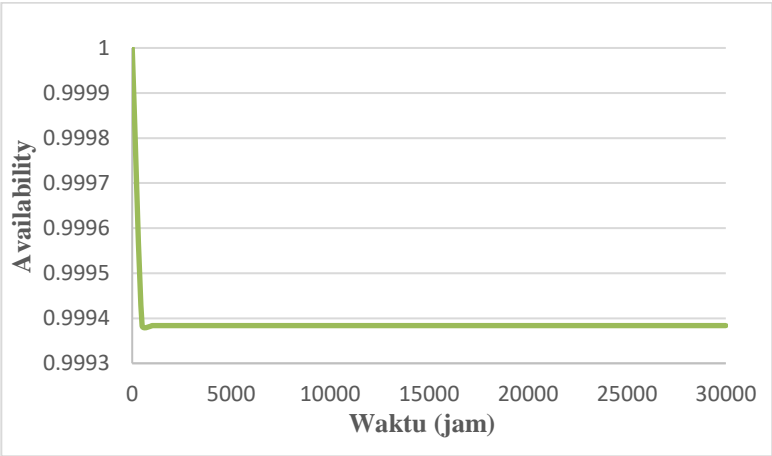


Sedangkan, nilai $M(t)$ untuk *Servo Fuel Heater* pada 6000 jam operasi sebesar 1.

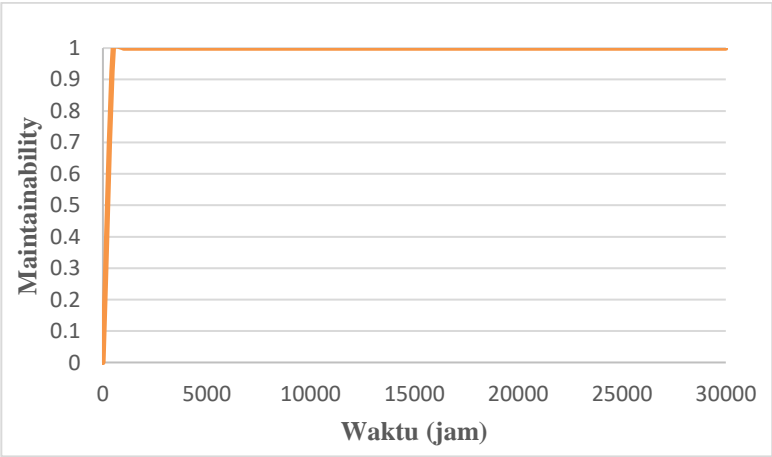


D. Electronic Engine Control (EEC)

Pada 3500 jam operasi, didapatkan nilai *availability* $A(t)$ dari *Electronic Engine Control* (EEC) sebesar 0,999383.

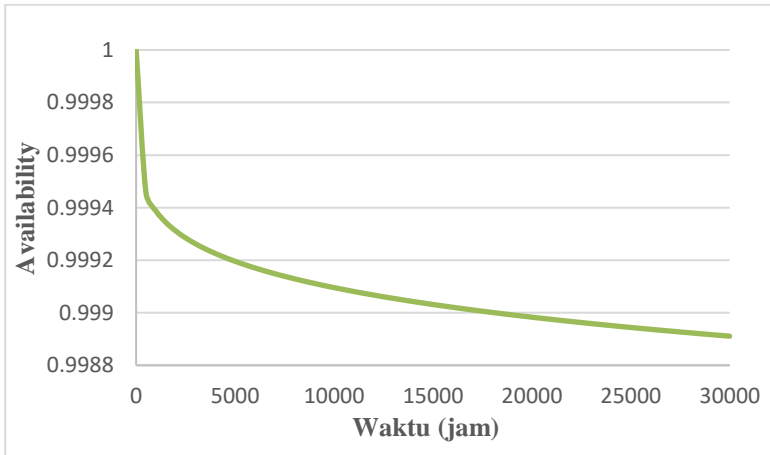


Sedangkan, nilai $M(t)$ untuk *Electronic Engine Control* (EEC) pada 3500 jam operasi sebesar 1.

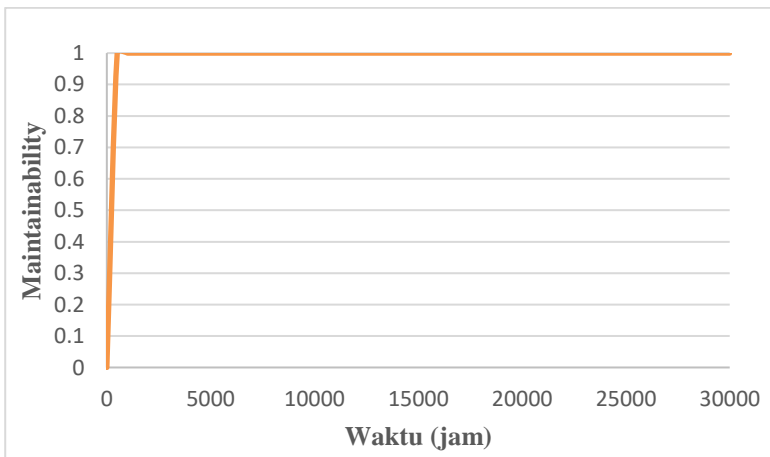


E. *Hydro-mechanical Unit (HMU)*

Pada 3000 jam operasi, didapatkan nilai *availability* $A(t)$ dari *Hydro-mechanical Unit (HMU)* sebesar 0,999262.

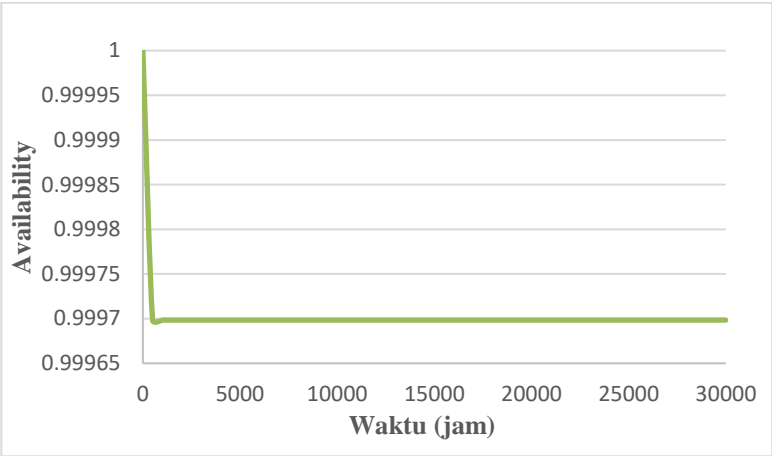


Sedangkan, nilai $M(t)$ untuk *Hydro-mechanical Unit (HMU)* pada 3000 jam operasi sebesar 1.

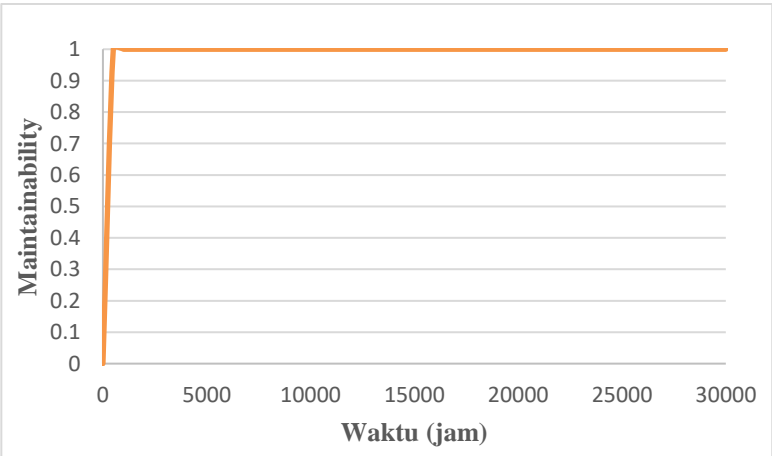


F. Fuel Flow Transmitter

Pada 6500 jam operasi, didapatkan nilai *availability* A(t) dari *Fuel Flow Transmitter* sebesar 0,999698.

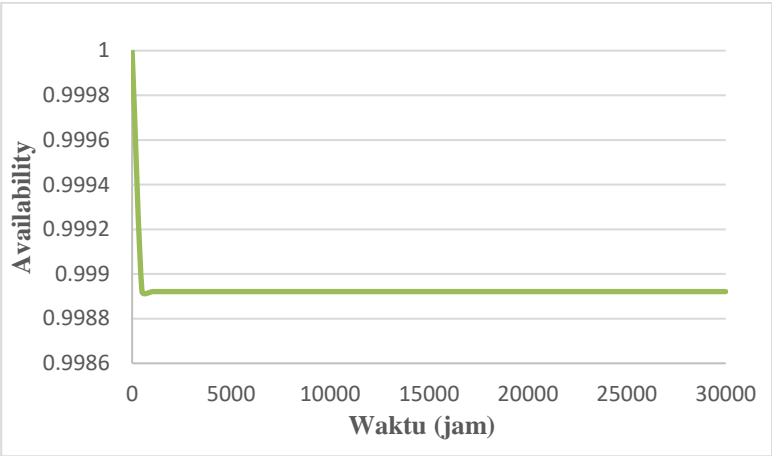


Sedangkan, nilai M(t) untuk *Fuel Flow Transmitter* pada 6500 jam operasi sebesar 1.

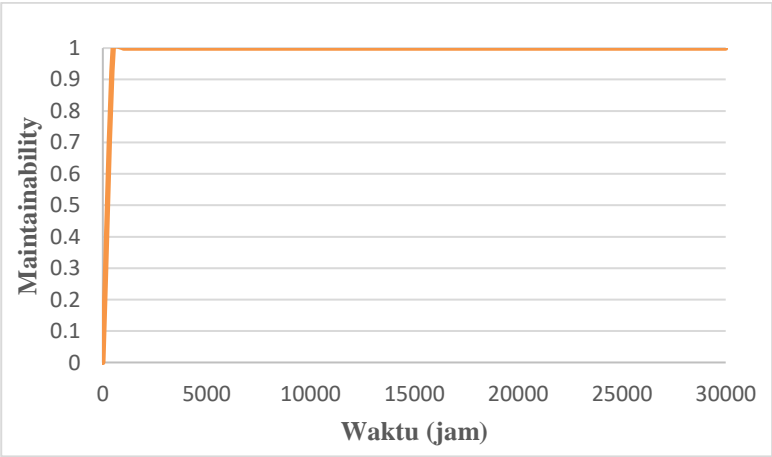


G. Fuel Flow Differential Pressure Switch (FFDPS)

Pada 1000 jam operasi, didapatkan nilai *availability* $A(t)$ dari *Fuel Flow Differential Pressure Switch* (FFDPS) sebesar 0,998921.



Sedangkan, nilai $M(t)$ untuk *Fuel Flow Differential Pressure Switch* (FFDPS) pada 1000 jam operasi sebesar 1.



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN E

Berikut adalah lembar validasi pengambilan data.



LEMBAR VALIDASI DATA TUGAS AKHIR PT. GMF AEROASIA

Dengan ini menyatakan bahwa data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir di bagian Reliability Management Unit TER-1 PT. GMF AeroAsia:

Nama : Furqon Gilang Nugraha
NRP : 2414.106.029
Fak/Jurusan : Teknologi Industri/ SI – Teknik Fisika
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Reliability Engine Fuel And Control Pada Pesawat
B737-800NG Garuda Indonesia di PT. GMF AeroAsia

Merupakan data perawatan yang bersumber dari bagian Reliability Management Unit TER-1 PT. GMF AeroAsia. Adapun data perawatan yang digunakan dalam penelitian merupakan data yang dimulai dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2016 dan dalam hal ini acuan nilai $R(t)$ yang digunakan adalah sebesar 0,7 setiap komponen akan di-maintenance.

Tangerang, 29 Juli 2016

Pembimbing Lapangan

Agus Prasetyo

Unit TER-1 Reliability Management
PT. GMF AeroAsia

Halaman ini sengaja dikosongkan

TENTANG PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Furqon Gilang Nugraha dan akrab disapa dengan panggilan Furqon dalam kesehariannya di perkuliahan. Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 23 Juli tahun 1992 dan sejak kecil tinggal bersama orang tua di Tangerang. Jenjang pendidikan yang telah ditempuh penulis adalah TK Islam At-Taqwa Garuda pada tahun 1997-1998. Melanjutkan ke jenjang Sekolah Dasar di SD Negeri 15 Tangerang pada tahun 1998-2004.

Kemudian penulis melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah di SMP Negeri 1 Tangerang pada tahun 2004-2007 dan SMA Negeri 1 Tangerang pada tahun 2007-2010. Selama menempuh pendidikan Sekolah Menengah, penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non akademik (Rohis). Setelah lulus SMA, kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang Diploma 3 program studi Teknik Elektro Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada (UGM) pada tahun 2010-2013. Selama menempuh pendidikan Diploma 3 penulis juga aktif dalam kegiatan non akademik yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro UGM sebagai Kepala Departemen KASTRAD pada tahun 2012-2013. Kemudian setelah lulus jenjang Diploma 3 penulis bekerja di PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia sebagai *Maintenance Engineer* pada Januari 2014 sampai Januari 2015. Kemudian pada awal tahun 2015 penulis memutuskan untuk berhenti dari pekerjaan dan melanjutkan pendidikan ke jenjang Strata 1 program Lintas Jalur Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Kritik saran dari pembaca dapat dikirim melalui e-mail fgilangn@gmail.com.